

**Experimentelle Untersuchungen zur Unkrautökologie
als Beitrag zur umweltschonenden Herbizidanwendung
in der Forstwirtschaft**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwigs-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von
HUBERT PEER

1974

**Experimentelle Untersuchungen zur Unkrautökologie
als Beitrag zur umweltschonenden Herbizidanwendung
in der Forstwirtschaft**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwigs-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von
HUBERT PEER

1974



Tag der mündlichen Prüfung: 16.7.1974

Dekan: Prof. Dr. H. D. Löffler

Berichterstatter: Prof. Dr. P. Schütt

Prof. Dr. Huss

Vorwort

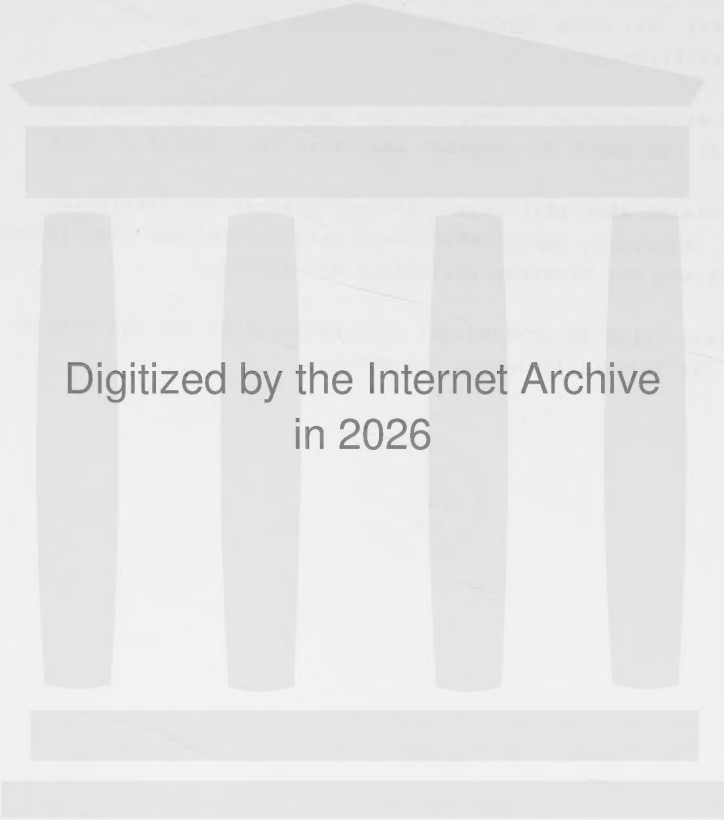
Diese Arbeit entstand auf Anregung von Herrn Prof. Dr. P. Schütt, der sie auch in ihrem Verlauf in dankenswerter Weise betreute.

Für weitere fachliche Anregungen und Diskussionen bin ich Herrn Prof. Dr. Koch, Herrn Dr. Lang sowie Herrn Dr. Schuck zu Dank verpflichtet.

Bei der statistischen Auswertung des Zahlenmaterials wurde mir die Hilfe von Herrn Dr. Bachler und Herrn Ofm. Kennel zu Teil.

Nicht zuletzt aber gilt mein Dank dem Personal des Forstbotanischen Instituts, sowie Herrn Menzinger, die bei der praktischen Durchführung der Versuche tatkräftig mitwirkten.

Die Arbeit wurde in großzügiger Weise finanziell von der Gesellschaft für Strahlenforschung unterstützt.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551921_0034

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
2 Material und Methoden	8
2.1 Topfversuch zur Unkrautökologie	8
2.1.1 Versuchsanlage	8
2.1.2 Versuchsanordnung	10
2.1.3 Pflanzenmaterial	11
2.1.3.1 Fichtenpflanzen	11
2.1.3.2 Unkrautmaterial	11
2.1.4 Versuchsdauer	13
2.1.5 Meßgrößen	13
2.1.5.1 Zuwachs der oberirdischen Teile	14
2.1.5.2 Zuwachs der unterirdischen Teile	14
2.1.6 Wasserhaushalt	14
2.1.7 Nährstoffgehalt	15
2.1.8 Phänologische Kriterien und weitere Beobachtungen während der Vegetationszeit	16
2.2 Versuche zur Allelopathie	16
2.2.1 Extrakterstellung	17
2.2.2 Laborexperimente	17
2.2.3 Gewächshausexperimente	18
2.3 Statistische Auswertung der Versuchser- gebnisse	18
3 Ergebnisse	19
3.1 Zuwachs	19
3.1.1 Oberirdische Teile	19
3.1.1.1 Triebblängen	19
3.1.1.2 Wurzelhalsdurchmesser	28
3.1.1.3 Frischgewicht der oberirdischen Teile	29
3.1.1.4 Nadel Trockengewichte	33
3.1.1.5 100-Nadelgewicht	35
3.1.1.6 Nadellänge	38
3.1.2 Zuwachs der unterirdischen Teile	40

3.1.2.1	Bilder der Wurzelentwicklung	40
3.1.2.2	Wurzelgewicht	43
3.1.2.3	Beobachtungen an Wurzeln	45
3.1.2.3.1	Mykorrhizabesatz	45
3.1.2.3.2	Wurzelrinde und Totwurzelanteil	45
3.2	Das Wasserpotential	46
3.3	Nährstoffversorgung	49
3.4	Phänologische Kriterien und weitere Beobachtungen	52
3.4.1	Nadelverfärbungen	52
3.4.2	Austreiben der Fichten im Frühjahr	58
3.4.3	Abschlußzeitpunkt der Höhentriebentwicklung	58
3.4.4	pH-Wert	60
3.5	Versuche zur Allelopathie	60
4	Diskussion	64
5	Zusammenfassung	75
6	Literaturverzeichnis	77
7	Bildteil	85

1 Einleitung und Problemstellung

Seit einiger Zeit werden die Fragen, die mit der Belastung des Ökosystems Wald in Zusammenhang stehen, auf immer breiterer Basis diskutiert (AMARO 1973).

Dabei erschweren Emotionen oft eine sachliche Argumentation. Zudem fehlen noch in vielen Fragen gesicherte Grundlagenuntersuchungen. Aus diesem Grund wächst das Unbehagen vor den Folgen unkontrollierter Umweltbelastungen wie z.B. Wasserverschmutzung und Eindringen giftiger Substanzen in die Ernährungszyklen (BOSSEL 1974).

Chemische Unkrautvernichtungsmittel wurden erst seit dem 2. Weltkrieg in der Landwirtschaft eingeführt, sind aber seitdem in immer stärkerem Ausmaß angewendet worden. So beläuft sich der Wert des Herbizidverbrauches der US-Landwirtschaft auf mehr als eine Milliarde US-\$ jährlich, mit einer Steigerungsrate von 16 % (GALSTON 1971).

Gewiß sind amerikanische Verhältnisse nicht ohne weiteres auf Europa zu übertragen und der Herbizideinsatz der Forstwirtschaft unterscheidet sich sehr von dem der Landwirtschaft (jährlicher Herbizideinsatz in der Landwirtschaft bzw. Einsatz nur einmal in 100 Jahren bei der Forstwirtschaft).

Aber auch in der Forstwirtschaft steigt der Herbizidverbrauch ständig. Steigende Lohnkosten und Arbeitskräftemangel haben in den letzten Jahren eine verstärkte Technisierung der Waldarbeit erzwungen. Damit wurde die mechanische weitgehend von der chemischen Unkrautbekämpfung mit all ihren zweifellos großen Vorteilen verdrängt (u.a. ROZSNYAY 1961, BOSSEL 1968, REGEL 1974, BEGEMANN 1973, HÜTTE 1973, LANZ 1973, RIECKE 1973). In der näheren Zukunft ist auch sicher nicht mit einem Verzicht auf Herbizide zu rechnen, die inzwischen zu dem bedeutendsten Pestizid wurden (HAUPT 1973, AMARO 1973).

Dennoch mehrten sich in letzter Zeit die Stimmen, die vor einem ungezügelten, bedenkenlosen Herbizideinsatz wegen der möglichen, noch weitgehend unerforschten Folgen warnen (Pressemitteilung unabhängiger Wissenschaftler 1973).

Die Bedenken gegen einen Herbizideinsatz beziehen sich im wesentlichen auf folgende Punkte:

- 1) Gefährdung unserer Trinkwasserversorgung durch Herbizidanwendung im Einzugsbereich unserer Trinkwassertalsperren (EVERS 1973)
- 2) Herbizidrückstände auf Waldfrüchten (OLBERG 1973)
- 3) Änderung der Artenzusammensetzung nach Anwendung von Herbiziden (= Verarmung) (MÜNCH 1972)
- 4) Verunkrautung kann zunehmen und bisher unbedeutende Arten können gefährlich werden (Ausschaltung der interspezifischen Konkurrenz) (HOLZNER 1973)
- 5) Einflüsse auf Struktur und Mikrobiologie des Bodens (WALTER 1970)
- 6) Einwirkungen auf die Bodenfauna, v.a. Regenwürmer (KLOOS u.a. 1973)
- 7) Beeinträchtigung der Erholungsfunktion des Waldes (GUNDERMANN 1974, KIRK 1972, MÜNCH 1972)

Doch die Herbizidanwendung wird nicht nur einseitig verdammt, es werden gleichzeitig auch Lösungsmöglichkeiten für eine herbizidfreie Verjüngung angeboten, z.B. die Verwendung besserer, d.h. stärkerer Forstpflanzen, die konkurrenzfähiger sind und dem Einfluß der Unkräuter schneller entwachsen (OLDENKAMP 1973, KLEBIGAT 1971). Unkräuter schaden dann nicht mehr, sondern können eventuell sogar nützlich sein (Bodendeckung) (HASENKAMP 1974).

Eine andere Alternative wäre in einer waldbaulichen Lösung zu suchen: eine kahlschlaglose Wirtschaftsweise würde in den Fällen, in denen sie möglich ist, das Problem der Verunkrautung nicht erst entstehen lassen, oder doch stark verringern (HASENKAMP).

Im Großen und Ganzen einig ist man sich über die Tatsache, daß bei der Unkrautbekämpfung heute des Guten oft zuviel getan wird. Eine Unkrautbekämpfung in der Forstwirtschaft führt nicht immer zur Ertragssteigerung wie in der Landwirtschaft (RÖHRIG 1973, KRANZ 1973, KLEBINGAT 1970, DEPPENMEIER 1973, BOSSEL 1968)! Nicht jedes Unkraut muß bekämpft werden. Das Problem besteht jedoch darin, daß über die genauen Schädwirkungen der einzelnen Unkräuter und die Ökologie von Unkrautgemeinschaften noch sehr wenig bekannt ist.

Während in der Landwirtschaft schon seit längerer Zeit an diesen Problemen intensiv gearbeitet wird, steckt diese Forschung bei der Forstwirtschaft noch in den Kinderschuhen (RÖHRIG 1964).

Will man sich über die gegenseitige Beeinflussung von Unkräutern und Forstpflanzen klar werden, so muß man sich zunächst über einige Begriffe klar sein:

- Was ist überhaupt Unkraut?
- Welcher Art sind seine Schädigungen?
- Wie können diese erfaßt werden?

Unkraut ist nach WITSCH (1959) im allgemeinen "kein biologischer, sondern nach dem Nützlichkeitsstandpunkt des Menschen geprägter und damit nach den neuen Erkenntnissen auch wandelbarer Begriff". In ähnlicher Weise äußert sich auch DUFFUS (1971): der Begriff Unkraut ist relativ und hängt von den jeweiligen Gegebenheiten, dem Standort usw. ab.

RADEMACHER (1948) unterscheidet zwischen einer wirtschaftlichen und einer biologischen Betrachtungsweise der Unkräuter: "Unkräuter sind, wirtschaftlich gesehen, Pflanzen, die unerwünschterweise auf dem Kulturlande wachsen und dort mehr Schaden als Nutzen verursachen" und: "biologisch gesehen sind die Unkräuter Pflanzen, die gesellschaftsbildend mit den Nutzpflanzen zusammen auftreten, deren Kultur für sie erträglich, förderlich oder sogar lebensnotwendig ist".

Auf Grund dieser Definitionen ist es auch klar, daß eine Pflanzenart einmal als Unkraut, dann wieder als Kulturpflanze betrachtet wird, wenn z.B. Bäume auf einer Grasflur wachsen und dann die Kulturpflanze "Gras" beeinträchtigen (BAILEY 1973). In der Forstwirtschaft wird dagegen wohl meist der umgekehrte Fall vorkommen (WHITCOMB 1972).

Neben einer Definition des Begriffes "Unkraut" ist es auch notwendig, sich die Einteilungsprinzipien klarzumachen: nach KORSMO (1930) werden Unkräuter nach der Art ihrer Vermehrung in drei Hauptgruppen eingeteilt:

- 1) Samenunkräuter (annuell oder überwinternd)
- 2) mehrjährige, bodenständige Unkräuter
- 3) Unkräuter mit dauernder vegetativer Vermehrung und Verbreitung

Die zweite wichtige Frage, die man sich im Zusammenhang mit der gegenseitigen Beeinflussung zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen stellen muß, ist die nach der Art der Unkrautwirkungen.

Nach RADEMACHER (1960) und RÖHRIG (1964) können sich höhere Pflanzen positiv oder negativ beeinflussen (s.S.13). Eine gute Zusammenstellung der Unkrautschadwirkungen bezüglich Konkurrenz, mechanischen Wirkungen und indirekten Einflüssen, die bestimmte Teile der Pflanzengemeinschaft auf andere ausüben, indem sie Schädlinge beherbergen, findet sich bei KORSMO (1930):
Demnach schädigen Unkräuter durch:

- 1) Verdrängen der Nutzpflanzen
- 2) Lichtentzug der Pflanzen
- 3) Nährstoffentzug aus dem Boden
- 4) Herabsetzung der Bodenwärme
- 5) Entzug von Bodenfeuchtigkeit
- 6) Störung von Entwicklung und Reife der Nutzpflanzen
- 7) Förderung von Pilz und Insektenangriffen
- 8) Verunreinigung und Durchsetzen der Ackerkrume mit Ausläufern

- 9) Ihre Lebensweise als Schmarotzer
- 10) Vergiften der Ernte
- 11) Herabsetzen des Ertragswertes
- 12) Beeinträchtigung des äußeren Eindrucks

Er berücksichtigte dabei aber noch nicht die Wirkungen der Stoffwechselprodukte für die MOLISCH (1937) den Begriff "Allelopathie" prägte.

Die Bedeutung der Allelopathie bei der Beurteilung der Unkrautwirkung ist noch heute umstritten. Während einige Autoren eine allelopathische Wirkung für nachgewiesen halten (BAEMER 1960, BÖRNER 1961, 1968, CLAUDIUS u.a. 1973, DAVIDONIS u.a. 1973, GRÜMMER 1961, HOLZNER 1973, ISRAEL u.a. 1973, KNAPP 1954, McCAHON u.a. 1954, McPHERSON u.a. 1972, MILTHORPE 1961, MORAL u.a. 1971, PRO-NIN u.a. 1973, RADEMACHER 1959, RICE 1972, TINNIN 1971, TUBBS 1973, WINTER 1953, WINTER u.a. 1952), schränken andere Autoren sie ein oder leugnen sie ganz (BALSCHUN 1966, FÖBER u.a. 1970, 1971, KERR 1965, ROVIRA 1965). Das liegt z.T. auch an der schwierigen Trennung von Konkurrenz und Allelopathie bei Versuchen.

Zusammenfassende Arbeiten zum Thema Allelopathie sind erschienen von GRÜMMER (1955), BÖRNER (1968), EVENARI (1961) und RÖHRIG (1964).

Doch Unkräuter wirken nicht nur schädlich. Es sind inzwischen auch schon einige positive Wirkungen der Unkräuter bekannt: RINTELEN (1973) beobachtete eine geringere Gefahr der Infektion von Erbsen und Lein durch bodenbürtige Fusarien, wenn die Kultur verunkrautet war. Eine interspezifische Konkurrenz der Unkräuter (HOLZNER 1973) verhindert ein Überhandnehmen einer einzelnen Art.

Von der Bedeutung mancher Unkräuter für die Sicherung der Erholungsfunktion wurde schon gesprochen (s.S.2).

Der Vollständigkeit halber sei hier auch noch die Untersuchung von MISSBACH (1971) erwähnt, der die Brennbarkeit verschiedener Pflan-

zen erforschte im Hinblick auf einen Schutz vor Waldbränden durch Anbau schwer brennbarer Arten. Er kam zu dem Ergebnis, daß der Sachalinknöterich (*Polygonum sachalinense* Frdr.) hierfür gut geeignet sei. Aber auch Himbeere ist im trockenen Zustand relativ schwer brennbar, ebenso *Deschampsia flexuosa* im grünen Zustand.

Allmählich setzte sich die Erkenntnis durch, daß nicht jedes Unkraut schädlich ist und bekämpft werden muß (BOSSEL 1968, KLEBINGAT 1970, 1971). Folgerichtig spricht DEPPENMEIER (1973) von einer schädigenden Haupt- und einer indifferenten Begleitflora (standortstypisch). Diese Entscheidung sei beim Herbizideinsatz zu berücksichtigen. ENDTMANN (1972) fordert eine Trennung in "Unkraut" und eigentliche "Schadunkräuter". Eine rationelle Bekämpfung der Unkräuter bedeutet keine vollständige Vernichtung aller Arten.

Damit kommt man zur dritten wichtigen Frage: "Wie können die Unkrautschadwirkungen erfaßt werden?" Diese Frage stellt ein Hauptproblem der Herbologie dar. Die meisten Arbeiten auf diesem Gebiet stammen aus der Landwirtschaft. Deren Methoden sind jedoch nur bedingt auf die Verhältnisse der Forstwirtschaft zu übertragen.

Wesentliche Forschungsergebnisse zu diesem Problem liegen vor, u.a. von HUSS (1973), HANSCHKE (1968), KLEBINGAT (1971), OLBORG (1963), ROEDIGER (1968), LANZ (1974).

Eine Zusammenfassung u.a. auch dieses Fragenkomplexes (Besprechung neuerer Arbeiten) brachte RÖHRIG (1964) in seinem Sammelreferat: "Über die gegenseitige Beeinflussung der höheren Pflanzen".

Immer noch aber fehlen in vielen wichtigen Fragen bei der Beurteilung von Unkrautkonkurrenzwirkungen gesicherte Grundlagenforschungen unter kontrollierten Bedingungen. Zwar sind die komplexen Zusammenhänge, das Zusammenwirken verschiedenster Faktoren bei der Erforschung von Ökosystemen ein Punkt, der das Entwirren dieser Zusammenhänge und die Erforschung der Bedeutung der einzelnen Faktoren sehr erschwert, aber das bedeutet nicht, "daß komplexe Situationen für die Forschung ... von vornherein unentwirrbar sind,

und daß kein Anlaß besteht, der schrittweisen Bearbeitung stark miteinander verbobener Fragenkomplexe von vornherein aus dem Weg zu gehen". (SCHÜTT 1974).

Ein weiterer Schritt zur Aufklärung von Fragen einer gegenseitigen Beeinflussung von Unkräutern und Forstpflanzen sollte diese Arbeit sein.

Die Arbeit hat Modellcharakter. Anhand der typischen Vertreter einer Waldunkrautgesellschaft der oberbayerischen Schotterebene sollte geprüft werden, ob Unkrautarten tatsächlich die Entwicklung der Fichten hemmen können und ob daher die Bekämpfung unter Berücksichtigung der eingangs erwähnten Gesichtspunkte gerechtfertigt erscheint.

Umfassende experimentelle Untersuchungen zu diesem Thema fehlen bisher weitgehend. Diese Arbeit soll einen Schritt zum Schließen dieser Lücke darstellen.

2. Material und Methoden

Um die Konkurrenzwirkung der Hauptkomponenten einer weitverbreiteten Unkrautgesellschaft auf Fichtenpflanzen quantitativ erfassen zu können, wurden zwei Versuchsanstellungen angelegt:

- a) ein Freiland-Topfversuch zur Klärung der Wasser- und Nährstoffkonkurrenz anhand morphologischer Kriterien
- b) Gewächshaus- und Laborversuche zur Prüfung allelopathischer Zusammenhänge

2.1 Topfversuch zur Unkrautökologie

2.1.1 Versuchsanlage

Im Forstgarten Grafrath (ca. 40 km südöstlich von München, 550 m NN 880mm Jahresniederschläge, 7,2°C Jahresdurchschnittstemperatur) wurde im April 1972 auf einer Fläche von ca. 16 m x 7 m ein Freilandtopfversuch angelegt (s. Abb. 1). Um zu verhindern, daß andere Unkräuter von unten in die Töpfe eindringen, wurde das Erdreich ca. 30 cm tief ausgehoben. Die so präparierte Fläche wurde mit einer Polyäthylenfolie abgedeckt und mit einer 25 cm starken Kiesschicht aufgeschüttet.

Die Fläche wurde leicht geneigt angelegt, um so einen Einfluß durch Stauwasser auch nach längerer Regenzeit auszuschalten.

Die Versuchsanlage umfaßte 52 Parzellen (Größe 1,10 x 1,10 m) à 25 Tontöpfe (Ø 20 cm). Die einzelnen Felder waren durch 40 cm breite Wege voneinander getrennt. Die Versuchstöpfe wurden so in das Kiesbett der Fläche eingesenkt, daß unter den Töpfen noch eine 3 - 5 cm mächtige Kiesschicht lag (Austrocknungsschutz).

Eine Beeinflussung durch eine Verschiedenartigkeit des Bodens, die bei reinen Feldversuchen oft störend mitwirkt, sollte ausgeschlossen werden. Deshalb trat an Stelle des natürlichen Bodens ein Kunstsustrat mit bekannten physikalischen und chemischen Eigen-

LI Rubus idaeus	KI Rubus fruticosus	JI Cirsium arvense viel	HI Rubus idaeus	GI Cirsium arvense wenig	FI Kontrolle	EI Cirsium arvense viel	DI Rubus idaeus	CI Cirsium arvense wenig	BI Rubus idaeus	AI
LII Galium mollugo viel	KII Calamagrostis epigeios viel	JII Galium mollugo viel	HII Calamagrostis epigeios viel	GII Kontrolle	FII Calamagrostis epigeios wenig	EII Galium mollugo wenig	DII Calamagrostis epigeios viel	CII Galium mollugo viel	BII Rubus fruticosus	AII
LIII Rubus fruticosus	KIII Deschampsia flexuosa wenig	JIII Deschampsia flexuosa wenig	HIII Deschampsia flexuosa viel	GIII Deschampsia flexuosa viel	FIII Deschampsia flexuosa wenig	EIII Deschampsia flexuosa wenig	DIII Deschampsia flexuosa viel	CIII Deschampsia flexuosa viel	BIII Kontrolle	AIII
LIV Rubus fruticosus	KIV Calamagrostis epigeios viel	JIV Galium mollugo wenig	HIV Calamagrostis epigeios wenig	GIV Galium mollugo wenig	FIV Calamagrostis epigeios wenig	EIV Galium mollugo wenig	DIV Calamagrostis epigeios viel	CIV Galium mollugo viel	BIV Rubus fruticosus	AIV
LV Rubus idaeus	KV Rubus fruticosus	JV Cirsium arvense viel	HV Rubus idaeus	GV Cirsium arvense wenig	FV Kontrolle	EV Cirsium arvense viel	DV Rubus fruticosus	CV Cirsium arvense wenig	BV Rubus idaeus	AV

AI-AV
Rubus
fruticosus

Fi1

Fi2

Abb. 1: Freiland-Topfversuch zur Unkrautökologie

schaften. Gleichzeitig konnte damit eine jederzeitige Reproduzierbarkeit der Versuche besser gewährleistet werden. Nach BLUM (1970) eignet sich "Vermiculit Nr. 2" - ein Schichtsilikat - sehr gut für pflanzenökologische Versuche.

Da der pH-Wert des Substrats nach der ersten Vegetationsperiode für Fichten zu sehr im basischen Bereich lag (pH 9), wurde dem Substrat im März 1973 viermal in wöchentlichen Abständen jeweils 5 ml H_3PO_4 in 200 ml Wasser/Topf zugegeben und so ein pH von ungefähr 5,5 eingestellt.

Eine ausreichende und gleichmäßige Versorgung mit Nährstoffen wurde gewährleistet, indem während der Vegetationsperioden 1972 und 1973 in 14-tägigen Abständen je Versuchspflanze 200 ml "Knop'sche Nährlösung" folgender Zusammensetzung zugeführt wurden:

0,2 g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
0,05 g MgSO_4
0,05 g KH_2PO_4
0,05 g KNO_3
0,02 g FeSO_4
+ Spurenelemente (A-Z Lösung)

Ein besonderer Vorteil des Vermiculits liegt darin, daß es leicht aus den Wurzelballen auszuwaschen ist, was für die Wurzeluntersuchungen nach Abschluß des Versuches 1973 besonders günstig war.

2.1.2 Versuchsanordnung

Die Bepflanzung der Versuchstöpfe erfolgte mit 1- bzw. 2-jährigen Fichten und den folgenden sechs Unkrautarten:

Himbeere (*Rubus idaeus* L.)

Brombeere (*Rubus fruticosus* L.)

Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense* L.)

gemeines Wiesenlabkraut (*Galium mollugo* L.)

Landreitgras (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth)

geschlängelte Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.)

Die Menge des beigefügten Unkrauts wurde variiert, um so den Ein-

fluß von viel bzw. wenig Unkraut auf die Forstpflanzen zu testen.

"Wenig Unkraut" bedeutete bei Brombeere, Himbeere und Distel je 2 Pflanzen/Topf, bei Labkraut, Reitgras und Schmieles jeweils 2 Büschel bzw. Polster der betreffenden Unkräuter. "Viel Unkraut" bedeutete jeweils die doppelte Menge. Eine Behandlung umfaßte 50 Töpfe.

Somit ergaben sich für die Versuche mit einjährigen Fichten und den sechs Unkrautarten in zwei verschiedenen Intensitätsstufen ("viel" bzw. "wenig") = 600 Töpfe. Die gleichen Behandlungen erfolgten in gleichem Umfang auch an zweijährigen Fichten.

2.1.3 Pflanzenmaterial

2.1.3.1 Fichtenpflanzen

Die einjährigen Fichten (= Fi 1) entstammten dem Herkunftsgebiet VIII/14 (Schongau), Höhenlage bis 900 m, Erntejahr 1966/67. Sie wurden angezogen im Pflanzgarten des Forstamtes Fürstenfeldbruck (550 m NN).

Die zweijährigen Fichten (= Fi2) stammten aus dem Herkunftsgebiet VIII/16 (Burghausen), Höhenlage 300 bis 700 m, Erntejahr 1966/67. Sie wurden im forstamtseigenen Pflanzgarten des damaligen Forstamtes Burghausen in Markt/Inn, Höhenlage 400 m NN, angezogen.

Beide Herkünfte sind für den Anbau in der oberbayerischen Schotterebene geeignet. Die Anzucht der Pflanzen erfolgte in herbizidfreiem Substrat, um eine Trendbeeinflussung durch Biozide auszuschließen. Aus diesem Grund mußte auch auf zwei verschiedene Herkünfte zurückgegriffen werden.

2.1.3.2 Unkrautmaterial

Das Unkrautmaterial stammt ausschließlich aus einer typischen Unkrautgesellschaft der oberbayerischen Schotterebene, und zwar von einem Standort des Forstamtes Fürstenfeldbruck. (540 m NN, Stand-

ortseinheit 12 der Standortskartierung, d.h. Schotterebene mit moränennahem Schotter; mäßig trockener bis mäßig frischer kiesiger sandiger Lehm)

Nach Angaben des Forstamts und nach eigenem Augenschein wurden die sechs typischsten und auch am häufigsten bekämpften Unkräuter (s.o.) ausgewählt.

Das bei der Nachbesserung verwendete Material (Distel, Himbeere und Brombeere) gehört zur selben Unkrautgesellschaft und wurde z.T. lediglich von einem anderen Standort gewonnen.

Die Unkräuter wurden an Ort und Stelle möglichst sorgfältig, unter Erhaltung ihrer Wurzeln ausgegraben und vor dem Verpflanzen weitgehend von anhaftendem Naturboden befreit.

Die Anwuchserfolge waren sehr unterschiedlich: während Distel, Labkraut und Schmiele gut anwuchsen und nur vereinzelt nachgebessert werden mußten, traten bei den anderen Arten z.T. erhebliche Schwierigkeiten auf.

Bei *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth gelang es noch, bis zum Juli/August 1972 soviel Versuchsmaterial in gesonderten Töpfen anzuziehen und nach gesichertem Anwachsen in Vermiculit, in die eigentlichen Versuchstöpfe umzupflanzen, daß die Behandlung "*Calamagrostis epigeios* wenig" und "*Calamagrostis epigeios* viel" in der o.a. Weise durchgeführt werden konnte.

Bei Brombeere mußten im Herbst 1972 Ausläufer gewonnen werden, die während des Winters 1972/73 im Gewächshaus angezogen und erst vor Beginn der Vegetationsperiode 1973 in die Versuchstöpfe ausgepflanzt wurden. Das führte bei *Rubus fruticosus* zu einer nur einjährigen Versuchsdauer.

Bei Himbeere gelang es erst im Laufe der Vegetationsperiode 1973 eine genügend große Anzahl von Pflanzen anzuziehen, so daß die-

ser Teil des Versuchs für die meisten morphologischen, nährstoff-analytischen und Wasserhaushaltsuntersuchungen ausfiel.

2.1.4 Versuchsdauer

Aus den erwähnten Schwierigkeiten bei der Kultivierung der Unkräuter, dem Verpflanzungsschock und der ausgleichenden Wirkung eventuell gespeicherter Reservestoffe in den Fichten, fand die Hauptauswertung im Herbst 1973 statt. Erste probeweise Zuwachsmessungen im November 1972 hatten noch keine statistisch zu sichernden Unterschiede erbracht.

2.1.5 Meßgrößen

Für die Beurteilung der Beeinflussung von Forstgehölzen durch Unkräuter ist es wichtig, vergleichbare Meßkriterien zu besitzen und damit von rein optischen Zuwachskriterien unabhängig zu werden (ROEDIGER 1968 und HOFFMANN 1973). Leider liegen bei Forstpflanzen noch keine ausgereiften Erfahrungen vor. Die sehr aufwendigen Verfahren wurden bisher meist nur in der Landwirtschaft angewendet.

Eine Beeinflussung von Fichten durch Unkräuter kann nach RADE-MACHER (1960) und RÖHRIG (1964) auf folgenden Faktoren beruhen:

- 1) Konkurrenz um die Wachstumsfaktoren Licht, Wasser und Nährstoffe
- 2) Wirkung der Stoffwechselprodukte einer Pflanze auf die andere - Allelopathie
- 3) mechanische Wirkungen
- 4) indirekte Einflüsse

Alle diese Einflüsse können sich in mannigfacher Weise bemerkbar machen. Für die Praxis dürfte aber in erster Linie die Beeinflussung bei der Stoffproduktion, gemessen in Zuwachswerten, von Bedeutung sein. Sie sollen deshalb hier an erster Stelle stehen.

2.1.5.1 Zuwachs der oberirdischen Teile

- 1) Triebblängen
 - a) gemessen nach Abschluß der ersten Vegetationsperiode 1972 auf 1 mm genau
 - b) gemessen Mitte Juni und Mitte September der zweiten Vegetationsperiode (1973) auf 1 mm genau
- 2) Wurzelhalsdurchmesser (WHD), gemessen im Herbst 1972 und 1973 auf 1/10 mm genau
- 3) Frischgewicht aller oberirdischen Teile
- 4) Nadel Trockengewicht (NDTR) der Nadeln des letzten Nadeljahrgangs (48 Stunden bei 60°C getrocknet)
- 5) 100-Nadel Trockengewicht (100 Nadeln des Gipfeltriebes, 48 Std. bei 60° C getrocknet)
- 6) Nadellänge von jeweils 100 Nadeln der Gipfeltriebe, auf 1/2 mm genau gemessen

2.1.5.2 Zuwachs der unterirdischen Teile

- 7) Wurzelausbildung - hierfür wurden die Fichtenwurzeln von den Unkrautwurzeln getrennt und photographiert.
- 8) Mykorrhizabesatz der Wurzeln
- 9) Veränderungen der Wurzelrinde und der Rindenfarbe
- 10) Totwurzelaanteil
- 11) Wurzelfrischgewicht

2.1.6 Wasserhaushalt

Neben der Versorgung einer Pflanze mit Nährstoffen, ist die Versorgung mit Wasser ausschlaggebend für das Gedeihen. Der Wasserzustand einer Pflanze kann auf verschiedene Weise gemessen werden (WALTER und KREEB 1970).

Von den in der Pflanzenökologie gebräuchlichen Methoden zur Bestimmung des Wasserhaushalts, erschien die von Scholander entwickelte Methode am zweckmäßigsten (BENECKE 1972). Hierbei wird die Wasserspannung des Xylems in einem abgeschnittenen Zweig ge-

messen.

Durch des Wegfall der Zugspannung ziehen sich die Wasserfäden von der Oberfläche der Schnittstelle zurück. Nun wird der Zweig gasdicht in eine Druckkammer eingespannt, so daß die Schnittfläche nach oben zeigt. Die Scholander-technik verwendet nun ihrerseits Druck um den ursprünglichen Spannungszustand der Pflanze wiederherzustellen. In die Druckkammer wird also langsam Preßluft eingeleitet (10 sec/1 at), bis an der Schnittstelle Wasser austritt. Der hierfür notwendige Druck kann an einem Manometer abgelesen werden. Er entspricht dem Wasserpotential nach der Gleichung:

$$Y_w = P + Y_s \text{ Xylem}$$

(Y_w = Wasserpotential, P = aufgewendeter Druck, $Y_s \text{ Xylem}$ = osmotischer Druck des Xylemsaftes)

Da der osmotische Druck des Xylemsaftes in der Regel kleiner als 1 at ist, kann er vernachlässigt werden. Weitere Angaben über Theorie und Praxis der Wasserpotentialbestimmung finden sich bei WARING (1970), TYREE and HAMMEL (1972), SPOMER und LANGHANS (1972), SPOMER (1972), BOYER (1969), WOODS u.a. (1957), MILTHORPE (1961).

Während der Vegetationsperiode 1973 wurden Messungen mit einer Scholander - Bombe (Firma Roth-Gerätebau, Erlangen) durchgeführt, und zwar bei folgenden Wetterlagen:

- trocken, während langer Schönwetterperiode
- feucht, nach langer Schönwetterperiode (Wetterverschlechterung)
- feucht, während langer Schlechtwetterperiode
- trocken, nach langer Schlechtwetterperiode (Wetterbesserung)

2.1.7 Nährstoffgehalt

Um Einblicke in den Nährstoffgehalt der Fichten in Abhängigkeit von der Unkrautart zu erhalten, wurden im Herbst 1973 die Nadeln

der letztjährigen Triebe geerntet (Mischprobe), 72 Stunden bei 60°C getrocknet, sodann gemahlen und anschließend von der Bayer. Hauptversuchsanstalt für Landwirtschaft in Weihenstephan auf den Gehalt an N,P,K,Ca,Mg untersucht. Wegen des geringen Nadelmaterials konnte nur eine Untersuchung vorgenommen werden. Auf die damit zusammenhängenden Probleme soll später eingegangen werden.

2.1.8 Phänologische Kriterien und weitere Beobachtungen während der Vegetationszeit

Folgende, im Verlauf des Versuchs auftretenden morphologischen und phänologischen Verschiedenheiten wurden außerdem erfaßt:

- a) Nadelverfärbung, beobachtet im Herbst 1972 und im Frühjahr 1973
- b) Zeitpunkt des Austreibens im Frühjahr 1974
- c) Entwicklungszustand der Höhentriebe im Juni/Juli 73
- d) pH Wert-Messungen

Zur genaueren Klärung der Fragen nach Ursachen der Nadelverfärbungen wurden im März 1974 von den letztjährigen Nadeln der "Fi 2" (= zu diesem Zeitpunkt 4-jährig) Chlorophyllanalysen (nach HAGER und MEYER-BERTENRATH, 1966 sowie nach dem Verfahren von MacKINNEY) durchgeführt.

2.2 Versuche zur Allelopathie

Neben Freiland-Topfversuchen zur Erfassung der Unkrautkonkurrenz wurden im Labor- und im Gewächshaus weitere Experimente durchgeführt, die über allelopathische Erscheinungen (Einflüsse der Unkrautarten auf Fi) Aufschluß geben sollten.

Zu diesem Zweck wurden im Sommer und im Herbst 1972 Unkrautpflanzen der hier untersuchten Arten (s.S.10) geerntet und bis zur Extraktzubereitung im Winter 1972/73 in der Kühltruhe bei -30° C aufbewahrt.

2.2.1 Extrakterstellung

50 g lufttrockenes bzw. darrtrockenes (24 Stunden bei 105° C) Pflanzenmaterial wurde im Starmix zerkleinert, mit jeweils 800 ml dest. Wasser versetzt und nach 12 Stunden abfiltriert. Das Filtrat (= Extrakt) wurde anschließend eingefroren und bis zum Ansatz in Biotests in der Kühltruhe bei -30° C aufbewahrt. Von einer Unkrautart wurden folgende Extrakte hergestellt.

- 1) Kaltwasserextrakte von der Gesamtpflanze
- 2) Kaltwasserextrakte von den Wurzeln
- 3) Warmwasserextrakte (35° C) von der Gesamtpflanze
- 4) Warmwasserextrakte (35° C) von den Wurzeln

Da von jeder Unkrautart Sommer- und Herbstmaterial zur Verfügung stand, wurden 92 verschiedene Extrakte in die Versuche einbezogen.

2.2.2 Laborexperimente ("Petrischalenversuche")

Die allelopathischen Einflüsse der Unkrautarten wurden anhand der Wirkung ihrer wässrigen Extrakte auf die Wurzelentwicklung und die Gesamtgewichte von Fichtenkeimlingen ermittelt.

Das Versuchsmaterial bestand aus Fichtenkeimlingen der Herkunft 840/19 (Burghausen) Erntejahr 1971/72.

Je 20 vorgekeimte Samen (Länge der Keimwurzel 2 mm) wurden in Petrischalen (Durchmesser 9 cm) auf Filterpapier ausgelegt und mit 2 ml des Stammextraktes bzw. auf die Hälfte verdünntem Stammextraktes, befeuchtet. Nach 10 Tagen, während derer die geschlossenen Petrischalen bei Raumtemperatur im Labor aufbewahrt worden waren, wurden die Wurzellängen und die Gesamttrockengewichte gemessen bzw. gewogen. Jeder Versuch hatte 4 Wiederholungen.

2.2.3 Gewächshausexperimente

In einer zweiten Versuchsserie fanden ältere Keimlinge Verwendung. In Anlehnung an die Methode von RICE, E.L. (1972) wurden jeweils 15 vorgekeimte Fichtensamen (Keimwurzellänge 2 mm) in Tontöpfe (Durchmesser 8 cm) mit Vermiculit übertragen (4 Wiederholungen). Nach 14-tägigem unbeeinflussten Wachstum im Gewächshaus (Temperatur 20° - 25° C, rel. Feuchte 60 - 80 % mit Temperatur- und Feuchtigkeitsschreiber fortlaufend registriert) wurden während weiterer 14 Tage an jedem zweiten Tag je 5 ml 100 % iger Stammextrakt/Topf mit einer Pipette möglichst gleichmäßig auf die Substratoberfläche der Töpfe ausgebracht. Nach Abschluß der Behandlung konnten an den Testpflanzen Wurzellänge, Sproßlänge, Gewicht, Zahl der gebildeten Seitenwurzeln und Farbe der Wurzeln registriert werden. Eine mehrfache Wiederholung der Versuche in unterschiedlichen Zeitabständen nach der Extrakterstellung (zwei, vier und sechs Monate) sollte über eventuell auftretende Veränderungen der Extrakte Aufschluß geben.

2.3 Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse

Das bei der Versuchsauswertung gewonnene und relativ große Zahlenmaterial wurde auf Lochkarten übertragen und varianz- und kovarianzanalytisch mit Hilfe der EDV auf dem IBM Rechner des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten ausgewertet. Dabei kamen die Programme BMD 01 V und BMD 04 V zur Anwendung.

- 3. Ergebnisse
- 3.1 Zuwachs
- 3.1.1 Oberirdische Teile
- 3.1.1.1 Triebblängen

Längenmessungen an den jüngsten Gipfeltrieben fanden nach Abschluß der Vegetationsperiode 1972 sowie in der Mitte und am Ende der Vegetationsperiode 1973 (Juni bzw. September 1973) statt.

Während im ersten Versuchsjahr nur eine schwache Reaktion der Versuchspflanzen auf den Unkrautbewuchs festzustellen war (Reservestoffe, allgemeine Wirkung des Verpflanzungsschocks), reagierten die Fichten im zweiten Versuchsjahr sehr deutlich auf den Unkrautbewuchs, wobei es klare Unterschiede sowohl zwischen den einzelnen Unkrautarten, als auch zwischen den Dichtegraden der gleichen Art gab.

Die Mittelwerte der Triebblängenmessungen sind in Tab. 1 und Tab. 2 wiedergegeben. Bei den hier angegebenen Zahlen sind die Werte für die Himbeere (*Rubus idaeus* L.) mit einem gewissen Unsicherheitsfaktor belastet, da die Anwuchserfolge am Anfang unterdurchschnittlich waren und auch noch bei Versuchsende eine geringere Anzahl von Versuchspflanzen als bei den übrigen Behandlungen zur Verfügung stand.

Fichte 2 (=4jährig) zeigte einen durchweg stärkeren Rückgang der Länge der Höhentriebe als Fichte 1 (=3jährig). Ob es sich dabei um eine altersbedingte Reaktion handelt oder ob genetische Unterschiede die Ursache sind, muß hier offen bleiben.

Schon jetzt deutet sich eine gewisse Gruppenbildung an, die vorweggenommen werden soll:

Schädigungsgruppen: (s. auch Abb.2 und 3)

Gruppe 1:
nicht, oder nur wenig schädliche
Unkräuter

a) *Rubus idaeus* (Himbeere)
Rubus fruticosus (Brombeere)

b) *Cirsium arvense* (Ackerkratzdistel)

Gruppe 2:
mäßig hemmendes Unkraut

c) *Galium mollugo* (gemeines Wiesenlabkraut)

Gruppe 3:
stärker schädigende Unkräuter

d) *Calamagrostis epigeios*
(Landreitgras)

e) *Deschampsia flexuosa*
(geschlängelte Drahtschmiele)

Die Schadwirkung nimmt von a) bis e) zu! Im Einzelfall ist eine Verschiebung der "Randarten" (Distel, Labkraut und Reitgras) in eine höhere oder niedrigere Gruppe möglich.

statistische Auswertung

Die statistische Auswertung ist in den Übersichten 1 - 5 wiedergegeben. Die Daten wurden kovarianzanalytisch untersucht, um einen Einfluß der Ausgangsgröße (Wurzelhalsdurchmesser 1972) auszuschalten. Während bei Fichte 1 bereits im Jahre 1 die ersten Unterschiede zu erkennen waren, gelang dies bei Fichte 2 erst im zweiten Jahr. Bei Fichte 1 waren die Unterschiede im September deutlicher ausgeprägt als im Juni (7 ungesicherte Gruppen im September gegenüber 11 im Juni). Die "Reaktion" der Fichte auf Labkraut ähnelt der auf Reitgras.

Für Fichte 2 waren am Ende des ersten Versuchsjahres keine Unterschiede im Längenwachstum zu sichern. Im Juni 1973 (Übersicht 4) gab es gesicherte Unterschiede bei praktisch allen Behandlungen und außerdem eine klare Abhängigkeit vom Wurzelhalsdurchmesser 1972 (Kovarianzanalyse). Im September war kein Einfluß des Wurzelhalsdurchmessers mehr nachzuweisen und die Varianzanalyse ergab trotz einer prozentual starken Hemmung des Höhenzuwachses nur noch bei relativ wenigen Behandlungen gesicherte Unterschiede (Übersicht 5).

Tab. 1: Durchschnittlicher Höhenzuwachs bei Fichte 1

		11.1972		6.73		9.73		Zuwachs zwischen Juni u. Sept. 73	
		cm	%	cm	%	cm	%	cm	%
1	Kontrolle	3,0		5,7	100	8,0	100	2,3	100
2	<i>Rubus fruticosus</i>	2,8		5,7	100	8,0	100	2,3	100
3	<i>Rubus idaeus</i>			(5,6)	(98,2)	(7,8)	(97,5)	(2,2)	(95,7)
4	<i>Cirsium arvense</i> wenig	2,9		5,4	94,7	6,2	77,5	0,8	34,8
5	<i>Cirsium arvense</i> viel	2,7		5,2	91,2	6,4	80,0	1,2	52,2
6	<i>Galium mollugo</i> wenig	2,7		4,6	80,7	5,6	70,0	1,0	43,5
7	<i>Galium mollugo</i> viel	2,9		3,7	64,9	4,4	55,0	0,7	30,4
8	<i>Calamagrostis epigeios</i> wenig	2,8		4,6	80,7	5,0	62,5	0,4	17,4
9	<i>Calamagrostis epigeios</i> viel	2,6		3,7	64,9	4,2	52,5	0,5	21,7
10	<i>Deschampsia flexuosa</i> wenig	2,6		2,3	40,4	3,1	38,8	0,8	34,8
11	<i>Deschampsia flexuosa</i> viel	3,0		2,1	36,8	2,9	36,3	0,8	34,8

Tab. 2: Durchschnittlicher Höhenzuwachs bei Fichte 2

	11.1972				6.73				9.73				Zuwachs zwischen Juni u. Sept. 73	
	cm	cm	cm	%	cm	cm	cm	%	cm	cm	cm	%	cm	%
1 Kontrolle	5,9		4,3	100		6,2	100		1,9	100				
2 Rubus fruticosus	5,5		3,6	83,7		4,7	75,8		1,1	58,0				
3 Rubus idaeus			(3,6)	(83,7)		(5,0)	(80,6)		(1,4)	(73,7)				
4 Cirsium arvense wenig	5,8		2,8	65,1		3,6	58,1		0,8	42,1				
5 Cirsium arvense viel	5,8		3,3	76,7		3,9	62,9		0,6	31,6				
6 Galium mollugo wenig	5,2		2,1	48,8		2,9	46,8		0,8	42,1				
7 Galium mollugo viel	5,8		1,6	37,2		2,2	35,5		0,6	31,6				
8 Calamagrostis epigeios wenig	5,6		2,2	51,2		2,9	46,8		0,7	36,8				
9 Calamagrostis epigeios viel	5,4		2,0	46,5		2,9	46,8		0,9	47,4				
10 Deschampsia flexuosa wenig	5,7		1,1	25,6		1,7	27,4		0,6	31,6				
11 Deschampsia flexuosa viel	4,8		0,9	20,9		1,6	25,8		0,7	36,8				

3.1.1.2 Wurzelhalsdurchmesser (WHD)

Der Wurzelhalsdurchmesser (WHD) wurde im Oktober/November 1972 bei allen Versuchspflanzen mit der Schublehre auf 1/10 mm genau gemessen, im September 1973 nur noch bei den Fichten, die zur Auswertung kamen. Die Durchschnittswerte sind in Tabelle 3 (Fichte 1) und in Tabelle 4 (Fichte 2) aufgetragen.

Tab. 3: Entwicklung des Wurzelhalsdurchmessers (WHD) bei Fichte 1

		WHD 72		WHD 73	
		mm	%	mm	%
1	Kontrolle	2,2	100	4,2	100
2	Rubus fruticosus	2,5	112,1	4,2	99,8
3	Cirsium arvense	2,3	101,8	3,5	84,5
4	Galium mollugo	2,2	98,7	3,0	71,4
5	Calamagrostis epigeios wenig	2,4	106,7	2,9	69,0
6	Calamagrostis epigeios viel	2,2	97,8	2,8	67,5
7	Deschampsia flexuosa wenig	2,0	88,8	2,7	64,2
8	Deschampsia flexuosa viel	2,0	87,4	2,6	62,5

Tab. 4: Entwicklung des Wurzelhalsdurchmessers bei Fichte 2

		WHD 72		WHD 73	
		mm	%	mm	%
1	Kontrolle	4,1	100	6,5	100
2	Rubus fruticosus	3,7	90,9	5,8	89,5
3	Cirsium arvense wenig	4,0	98,0	5,0	77,2
4	Cirsium arvense viel	3,5	85,5	4,9	76,2
5	Galium mollugo wenig	3,3	81,9	4,5	68,8
6	Galium mollugo viel	3,9	96,3	4,4	67,9
7	Calamagrostis epigeios wenig	3,7	91,7	4,4	67,1
8	Calamagrostis epigeios viel	3,6	89,2	4,0	62,2
9	Deschampsia flexuosa wenig	3,7	90,4	4,1	63,4
10	Deschampsia flexuosa viel	3,2	78,7	4,1	62,7

Auch hier zeigten sich nach dem ersten Versuchsjahr noch keine statistisch zu sichernde Auswirkungen der Unkrautbehandlungen.

Nach dem zweiten Versuchsjahr zeigte sich Fichte 1 von sämtlichen getesteten Unkräutern, Brombeere ausgenommen, negativ beeinflusst. (Himbeere wurde in die weiteren Untersuchungen nicht mehr mit einbezogen) (Übersicht 6).

Auch in der Wirkung zwischen den einzelnen Unkrautarten und Dichtegrade waren gesicherte Unterschiede vorhanden. Eine Ausnahme bildete hier die Schädigungsgruppe 3, deren einzelnen Behandlungen zwar gegenüber den anderen Unkrautbehandlungen und der Kontrolle, nicht aber untereinander gesicherte Differenzen aufwiesen.

Für Fichte 2 (Übersicht 7) gilt das für Fichte 1 Gesagte analog, nur war hier auch die Behandlung "Brombeere" von den übrigen Behandlungen unterschieden.

Insgesamt reagierte Fichte 2 stärker (=stärkere prozentuale Hemmung des Zuwachses bei WHD) als Fichte 1. Dies gilt vor allem für das erste Versuchsjahr. Im zweiten Versuchsjahr waren die Prozentwerte der Hemmung bei der Schädigungsgruppe 3 für Fichte 1 und Fichte 2 fast gleich.

3.1.1.3 Frischgewicht der oberirdischen Teile

Die gesamte Substanzproduktion einer Pflanze läßt sich am sichersten im Gewicht ausdrücken. In Tabelle 5 und Tabelle 6 sind die Mittelwerte für die Frischgewichte der oberirdischen Pflanzenteile wiedergegeben.

Einer Darstellung des Gesamttrockengewichtes als Vergleichsbasis, wie sie sonst üblich ist, standen methodische Hindernisse bei der Aufbereitung des Pflanzenmaterials entgegen: der Gipfeltrieb und die Seitentriebe mußten abgeschnitten und getrennt getrocknet werden, was mit der Auswertung der anderen Parameter kollidiert.

Übersicht 6: Statistische Sicherung des WHD 1973 bei Fichte 1

Kontrolle	Kontrolle	Rubus fruticosus	Cirsium arvense	Galium mollugo	Calamagrostis epigeios wenig	Calamagrostis epigeios viel	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle	+	+	+	+	+	+	+	+
Rubus fruticosus	+	+	+	+	+	+	+	+
Cirsium arvense	+	+	+	+	+	+	+	+
Galium mollugo	+	+	+	+	+	+	+	+
Calamagrostis epigeios wenig	+	+	+	+	+	+	+	+
Calamagrostis epigeios viel	+	+	+	+	+	+	+	+
Deschampsia flexuosa wenig	+	+	+	+	+	+	+	+
Deschampsia flexuosa viel	+	+	+	+	+	+	+	+

Übersicht 7: Statistische Sicherung des WHD 1973 bei Fichte 2

[illegible]

Tab. 5: Gewicht der oberirdischen Teile (GOB) bei Fichte 1

	g	GOB %
1 Kontrolle	5,0	100
2 Galium mollugo	3,7	75,3
3 Calamagrostis epigeios wenig	2,3	45,9
4 Calamagrostis epigeios viel	3,3	66,2
5 Deschampsia flexuosa wenig	2,6	51,9
6 Deschampsia flexuosa viel	2,4	49,1

Tab. 6: Gewicht der oberirdischen Teile (GOB) bei Fichte 2

	g	GOB %
1 Kontrolle	24,9	100
2 Rubus fruticosus	19,2	77,2
3 Cirsium arvense wenig	17,8	71,5
4 Cirsium arvense viel	11,8	47,3
5 Galium mollugo wenig	7,7	31,0
6 Galium mollugo viel	11,5	46,1
7 Calamagrostis epigeios wenig	10,2	41,1
8 Calamagrostis epigeios viel	8,5	34,3
9 Deschampsia flexuosa wenig	8,6	34,5
10 Deschampsia flexuosa viel	5,9	23,6

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung (Kovarianzanalyse) sind in Übersicht 8 und Übersicht 9 wiedergegeben.

Übersicht 8: Statistische Sicherung Frischgewichte der oberirdischen Teile bei Fichte 1

Kontrolle	Kontrolle	Galium mollugo	Calamagrostis epigeios wenig	Calamagrostis epigeios viel	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle						
Galium mollugo	+	+	+	+	+	+
Calamagrostis epigeios wenig	+	+	+	+	+	+
Calamagrostis epigeios viel	+	-	+	+	-	-
Deschampsia flexuosa wenig	+	+	+	-	-	-
Deschampsia flexuosa viel	+	+	+	-	-	-

Übersicht 9: Statistische Sicherung des Frischgewichts der oberirdischen Teile bei Fichte 2

Kontrolle	Kontrolle	Rubus fruticosus	Cirsium arvense wenig	Cirsium arvense viel	Galium mollugo wenig	Galium mollugo viel	Calamagrostis epigeios wenig	Calamagrostis epigeios viel	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle										
Rubus fruticosus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cirsium arvense wenig	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Cirsium arvense viel	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Galium mollugo wenig	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Galium mollugo viel	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Calamagrostis epigeios wenig	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Calamagrostis epigeios viel	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Deschampsia flexuosa wenig	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Deschampsia flexuosa viel	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-

Eine Erklärung für den auffallend niedrigen Wert für "Galium mollugo wenig" von 7,7 g (Fichte 2) im Gegensatz zu Galium mollugo viel (11.5 g) ist nur schwer möglich.

Auch hier bestätigt sich die Grundtendenz einer Einteilung in Schädigungsgruppen; insbesondere die Schädigungsgruppen 2 und 3 heben sich von den übrigen Werten deutlich ab. Die Differenzen bei den Einzelgliedern dieser Gruppen lassen sich untereinander statistisch nicht sichern.

Fichte 2 reagierte wiederum stärker als Fichte 1.

3.1.1.4 Nadelrockengewichte (NDTR)

Bei Fichte 2 wurden die Nadelrockengewichte des Nadeljahrganges 1972 ermittelt und die Ergebnisse ebenso wie bei den vorausgegangenen Meßgrößen kovarianzanalytisch untersucht (Tabelle 7 und Übersicht 10).

Tab. 7: Durchschnittliche Nadelrockengewichte bei Fichte 2 (NDTR)
(NDTR je Versuchspflanze)

	g	NDTR	%
1 Kontrolle	4,2		100
2 Rubus fruticosus	3,0		72,3
3 Cirsium arvense wenig	2,7		65,0
4 Cirsium arvense viel	1,8		41,9
5 Galium mollugo wenig	1,1		25,6
6 Galium mollugo viel	1,6		38,3
7 Calamagrostis epigeios wenig	1,3		30,6
8 Calamagrostis epigeios viel	1,3		30,4
9 Deschampsia flexuosa wenig	0,7		17,2
10 Deschampsia flexuosa viel	0,5		12,0

Bemerkenswert ist hier der starke Abfall der NDTR unter dem Einfluß von *Deschampsia flexuosa* bis auf 17 % bzw. 12 % der Werte der Kontrolle.

Reitgras wäre bezüglich seiner Wirkung auf das NDTR zusammen mit Labkraut in die Schädigungsgruppe 2 einzureihen.

3.1.1.5 100-Nadelgewicht (HNG)

Das HNG wird nach MÜNCH (1973) häufig als Weiser zur Ertragsermittlung benutzt. Es wurde daher auch in diese Untersuchung einbezogen.

Die Werte folgen bei den einzelnen Unkrautarten den bereits beschriebenen Trends.

Die Mittelwerte der Wägungen sind in Tabelle 8 und Tabelle 9, die Ergebnisse der statistischen Auswertung (ebenfalls Kovarianzanalyse) in Übersicht 11 und Übersicht 12, dargestellt.

Ein Vergleich der prozentualen Hemmung bestätigt den bisher gefundenen Trend, daß Fichte 2 deutlicher auf Unkraut reagiert, als die entsprechende Behandlung bei Fichte 1.

Tab. 8: 100 Nadelgewicht bei Fichte 1 (HNG)

		HNG	
		g	%
1	Kontrolle	0,12794	100
2	<i>Rubus fruticosus</i>	0,11786	92,2
3	<i>Cirsium arvense</i>	0,10160	79,4
4	<i>Galium mollugo</i>	0,0838	65,5
5	<i>Calamagrostis epigeios</i> wenig	0,08931	69,8
6	<i>Calamagrostis epigeios</i> viel	0,07498	58,6
7	<i>Deschampsia flexuosa</i> wenig	0,07365	57,6
8	<i>Deschampsia flexuosa</i> viel	0,05445	42,6

Tab. 9: 100 Nadelgewicht bei Fichte 2 (HNG)

		HNG	
		g	%
1	Kontrolle	0,1229	100
2	Rubus fruticosus	0,1023	83,2
3	Cirsium arvense wenig	0,1111	90,4
4	Cirsium arvense viel	0,0992	80,7
5	Galium mollugo wenig	0,0646	52,6
6	Galium mollugo viel	0,0621	50,5
7	Calamagrostis epigeios wenig	0,0688	56,0
8	Calamagrostis epigeios viel	0,0571	46,5
9	Deschampsia flexuosa wenig	0,0403	32,8
10	Deschampsia flexuosa viel	0,0419	34,1

Übersicht 11: Statistische Sicherung des 100-Nadelgewichts (HNG) bei Fichte 1

	Kontrolle	Rubus fruticosus	Cirsium arvense	Galium mollugo	Calamagrostis epigeios wenig	Calamagrostis epigeios viel	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle								
Rubus fruticosus	+		+	+	+	+	+	+
Cirsium arvense	+	+		+	+	+	+	+
Galium mollugo	+	+	+		+	+	+	+
Calamagrostis epigeios wenig	+	+	+	+		+	+	+
Calamagrostis epigeios viel	+	+	+	+	+		+	+
Deschampsia flexuosa wenig	+	+	+	+	+	+		+
Deschampsia flexuosa viel	+	+	+	+	+	+	+	

3.1.1.6 Nadellänge

Aus den Mittelteilen der Gipfeltriebe von jeweils 25 Fichten pro Unkrautart und Dichtestufe wurden 100 Nadeln gewonnen (Mischprobe) und auf 1/2 mm genau vermessen.

Aus der Zahl der Kriterien, die den oberirdischen Zuwachs repräsentieren sollen, war die Nadellänge der Faktor, der (Tabellen 10 und 11) in der Varianzanalyse die geringste Anzahl an gesicherten Unterschieden aufwies (Übersichten 13 und 14), obwohl er den gleichen Trends folgte, wie die übrigen Faktoren.

Tab. 10: Durchschnittliche Nadellängen am 9.8.73 bei Fichte 1

	mm	Länge %
1 Kontrolle	13,9	100
2 Cirsium arvense	13,4	96,1
3 Galium mollugo wenig	12,3	88,1
4 Galium mollugo viel	12,3	88,4
5 Calamagrostis epigeios wenig	12,2	87,4
6 Calamagrostis epigeios viel	11,1	80,0
7 Deschampsia flexuosa wenig	7,3	52,4
8 Deschampsia flexuosa viel	9,5	68,1

Tab. 11: Durchschnittliche Nadellängen am 9.8.73 bei Fichte 2

	mm	Länge %
1 Kontrolle	12,0	100
2 Rubus idaeus	10,8	89,6
3 Rubus fruticosus	10,8	89,8
4 Cirsium arvense	11,4	94,6
5 Galium mollugo wenig	7,2	59,6
6 Galium mollugo viel	8,3	69,2
7 Calamagrostis epigeios wenig	9,0	75,0
8 Calamagrostis epigeios viel	7,9	65,5
9 Deschampsia flexuosa wenig	6,7	55,7
10 Deschampsia flexuosa viel	6,0	49,9

Übersicht 13: Statistische Sicherung der Nadellängen bei Fichte 1

Kontrolle	Kontrolle	Cirsium arvense	Galium mollugo wenig	Galium mollugo viel	Calamagrostis epigeios wenig	Calamagrostis epigeios viel	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle								
Cirsium arvense	-	-	-	-	-	-	+	-
Galium mollugo wenig	-	-	-	-	-	-	+	-
Galium mollugo viel	-	-	-	-	-	-	+	-
Calamagrostis epigeios wenig	-	-	-	-	-	-	-	-
Calamagrostis epigeios viel	-	-	-	-	-	-	-	-
Deschampsia flexuosa wenig	+	+	+	+	-	-	-	-
Deschampsia flexuosa viel	-	-	-	-	-	-	-	-

Übersicht 14: Statistische Sicherung der Nadellängen bei Fichte 2

Kontrolle	Kontrolle	Rubus idaeus	Rubus fruticosus	Cirsium arvense	Galium mollugo wenig	Galium mollugo viel	Calamagrostis epigeios wenig	Calamagrostis epigeios viel	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle										
Rubus idaeus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Rubus fruticosus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Cirsium arvense	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+
Galium mollugo wenig	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Galium mollugo viel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calamagrostis epigeios wenig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calamagrostis epigeios viel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Deschampsia flexuosa wenig	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Deschampsia flexuosa viel	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-

Es ist dies auf die große Heterogenität der Mischprobe zurückzuführen.

Erst jene Behandlungen, deren durchschnittliche Nadellänge etwa 60 % der Werte bei den Kontrollpflanzen ausmachen, ließen sich signifikant von der Kontrolle unterscheiden.

Ein Vergleich zwischen Fichte 1 und Fichte 2 ergibt weiter:

- a) Die durchschnittliche Nadellänge ist bei den jüngeren Fichtenpflanzen (Fichte 1) höher als bei den älteren (Fichte 2)
- b) Die prozentuale Hemmung zeigt eine Bestätigung des gefundenen Trends.

Betrachtet man zusammenfassend die Zuwachsverhältnisse der oberirdischen Teile der Testpflanzen, so lassen sich 4 grundsätzliche Ergebnisse herausstellen: (s. Abb. 2 u. 3)

- 1) Bei den Unkrautarten lassen sich 3 Schädigungsgruppen nach dem Grad der Hemmwirkung aufstellen (s.S. 19)
- 2) *Cirsium arvense* L. ist ein Unkraut, das trotz kräftiger individueller Entwicklung und hohen Deckungsgrades die Fichte nur wenig schädigte (s. Abb. 11). Durchschnittlich erreichten die Fichten, die zusammen mit der Distel aufwuchsen 80 % der Werte der Kontrollpflanzen, die ohne jedes Unkraut aufwuchsen.
- 3) Das andere Extrem stellen die beiden Grasarten (s. Abb. 14-17) v.a. die Schmiehe, dar, die bei den NDTR einen Rückgang bis auf 12 % der entsprechenden Kontrollpflanzen bewirkten.
- 4) Fichte 2 wurde in allen bisher untersuchten Fällen durch Unkräuter prozentual stärker gehemmt als Fichte 1.

3.1.2. Zuwachs der unterirdischen Teile

3.1.2.1 Bilder der Wurzelentwicklung

Die Abb. 18 bis 23 sollen die unterschiedliche Ausbildung des Wurzelsystems bei Fichte 2 in Abhängigkeit vom Unkrautbewuchs verdeutlichen. Besonders große Unterschiede treten zwischen den Kontroll-

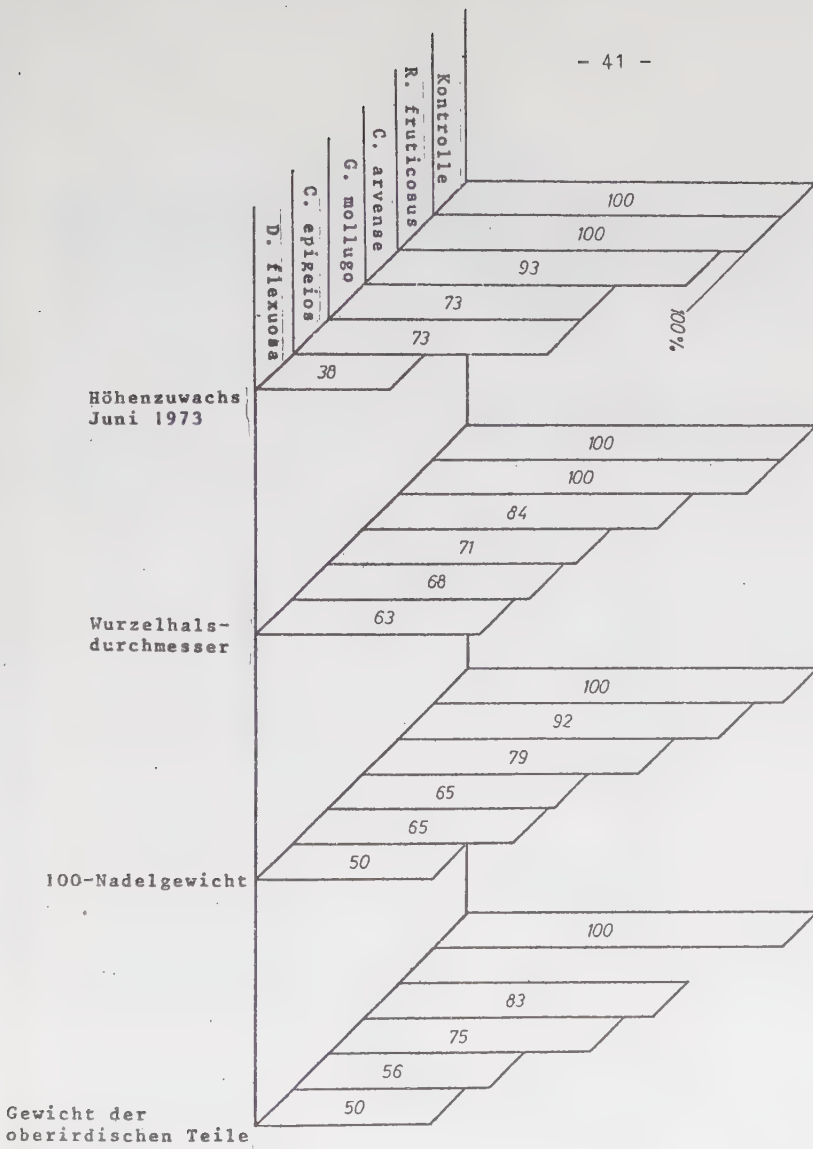


Abb. 2: Zuwachsverhältnisse bei Fichte 1

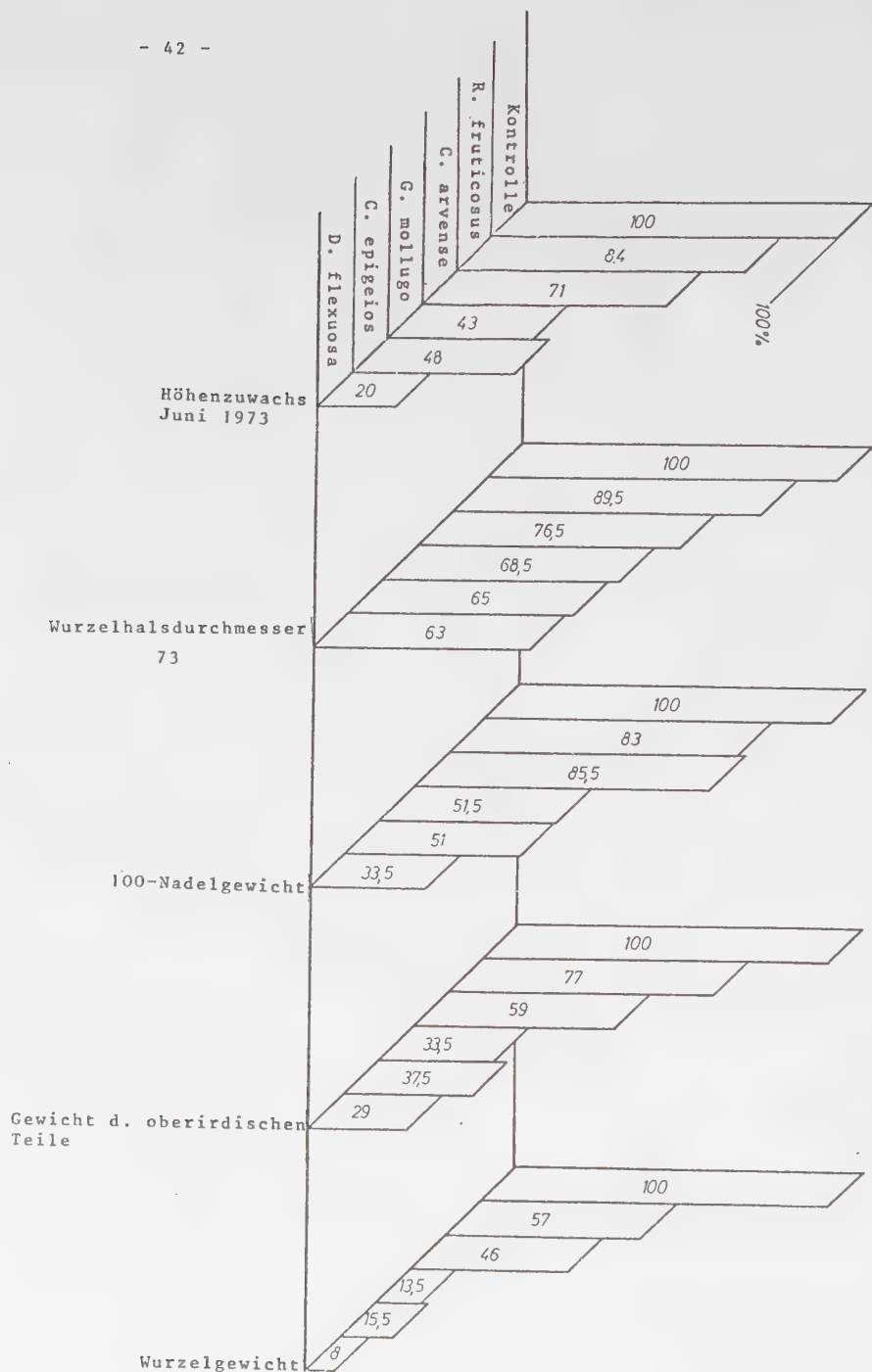


Abb. 3: Zuwachsverhältnisse bei Fichte 2

pflanzen und den Fichten aus der Schädigungsgruppe 3 auf.

Diese Unterschiede bleiben auch dann erhalten, wenn man einen gewissen Wurzelverlust (s.S. 42) bei den Fichten berücksichtigt, die in Gemeinschaft mit wurzelintensiven Unkräutern aufgewachsen waren (Labkraut, Reitgras und Schmielen).

3.1.2.2 Wurzelgewicht

Die Ergebnisse der Wurzelgewichtsbestimmungen sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tab. 12: Wurzelfrischgewichte bei Fichte 2

	Frischgewichte	
	g	%
1 Kontrolle	37,31	100
2 <i>Rubus fruticosus</i>	21,35	57,2
3 <i>Cirsium arvense</i> wenig	21,7	58,2
4 <i>Cirsium arvense</i> viel	12,64	33,9
5 <i>Galium mollugo</i> wenig	4,64	12,4
6 <i>Galium mollugo</i> viel	5,65	15,1
7 <i>Calamagrostis epigeios</i> wenig	5,45	14,6
8 <i>Calamagrostis epigeios</i> viel	6,1	16,4
9 <i>Deschampsia flexuosa</i> wenig	3,82	10,2
10 <i>Deschampsia flexuosa</i> viel	2,21	5,9

Die hier angegebenen Zahlen sind insofern mit Fehlern behaftet, als infolge starker Wurzelverfilzungen zwischen Fichten und den Unkräutern der Schädigungsgruppen 2 und 3 mit Wurzelverlusten von 20 % - 25 % gerechnet werden muß.

Die Ergebnisse der Kovarianzanalyse sind aus Übersicht 15 zu ersehen.

Übersicht 15: Statistische Sicherung des Wurzelgewichts bei Fichte 2

	Kontrolle	Rubus fruticosus	Cirsium arvense wenig	Cirsium arvense viel	Galium mollugo wenig	Galium mollugo viel	Calamagrostis epigeios wenig	Calamagrostis epigeios viel	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle										
Rubus fruticosus	+		+	+	+	+	+	+	+	+
Cirsium arvense wenig	+	-		+	+	+	+	+	+	+
Cirsium arvense viel	+	+	+		+	+	+	+	+	+
Galium mollugo wenig	+	+	+	+		+	-	-	+	+
Galium mollugo viel	+	+	+	+	+		-	-	-	-
Calamagrostis epigeios wenig	+	+	+	+	-	-		-	-	-
Calamagrostis epigeios viel	+	+	+	+	-	-	-		-	-
Deschampsia flexuosa wenig	+	+	+	+	-	-	-	-		-
Deschampsia flexuosa viel	+	+	+	+	-	-	-	-	-	

Selbst unter Berücksichtigung der erwähnten Einschränkungen läßt sich auch hier eine gute Übereinstimmung mit den Zuwachswerten der oberirdischen Teile feststellen.

Hervorzuheben ist, daß sich die Unterschiede im Wurzelgewicht bei den Unkräutern der Schädigungsgruppe 3 untereinander nicht sichern lassen, wohl aber gegenüber der Kontrolle und den Unkräutern der Gruppe 1.

3.1.2.3 Beobachtungen an Wurzeln

3.1.2.3.1 Mykorrhizabesatz

Die Fichten hatten beim Eintopfen einen natürlichen Besatz an Mykorrhiza. Nach der von GÖTTSCHE (1972) und DOMINIK (1969) vorgeschlagenen Einteilung war sie den Typen Fa und Fg zuzurechnen. (Abb. 5 u. 6)

Bei der Aufarbeitung des Versuchsmaterials wurde wiederum der Mykorrhizabesatz überprüft. Dabei wiesen alle Versuchspflanzen jetzt einen Mykorrhizabesatz vom TypAa auf (s. Abb.4) (weiße Mykorrhiza mit Hyphenschleier).

Unterschiedlich war vor allem die Stärke des Besatzes:

- einen sehr dichten Besatz wiesen die Kontrollpflanzen auf
- deutlich weniger, aber einen noch als gut zu bezeichnenden Mykorrhizabesatz, die Fichten, die mit Brombeere und Distel zusammen aufgewachsen waren.
- ein sehr geringer Mykorrhizabesatz war an den Pflanzen der übrigen Behandlungen festzustellen.

3.1.2.3.2 Wurzelrinde und Totwurzelanteil

Der Zustand der Wurzelrinde wurde anhand der Merkmale Wurzelfarbe und Festigkeit erfaßt.

So wiesen die Fichten der Kontrollgruppe und der Schädigungsgruppe 1 eine gesunde, hell- bis mittelbraune Farbe, auf. Die Wurzelspitzen waren weiß, die Wurzelrinde fest und ein erwähnenswerter Totwurzelanteil war nicht festzustellen.

Bei der Schädigungsgruppe 2 (*Galium mollugo* L.) traten erstmals auch hellbraune Verfärbungen der jüngsten Wurzelteile auf. Der weiße Anteil der Wurzelspitzen war sehr stark verkleinert.

Unter dem Einfluß der Unkräuter der Schädigungsgruppe 3 kamen bei den Wurzeln der Fichten noch deutlichere Verfärbungen vor. Dunkelbraune bis schwarzbraune Farbtöne waren vorherrschend. Zudem stieg

der Totwurzelanteil der Fichte sprunghaft an und die Wurzelrinde erschien schwammig und ließ sich leicht ablösen.

3.2 Das Wasserpotential

Von Mitte Juli bis Mitte Oktober 1973 wurden an Fichte 2 Wasserpotentialmessungen mit Hilfe der Scholanderbombe vorgenommen. Diese Messungen sollten über die Entwicklung des Wasserpotentials während der wichtigsten Wetterlagen (Schön- bzw. Schlechtwetterperioden und die unmittelbar darauffolgende Zeit) Informationen liefern. Es wurden keine vollständigen Tagesgänge aufgenommen, sondern die Wasserpotentiale zur gleichen Tageszeit (10⁰⁰ bis 11⁰⁰) verglichen.

Wasserpotentiale bei a): Schönwetterperiode (Tab. 13)

- 1) Generell lassen sich steigende Wasserpotentiale mit zunehmender Dauer der Schönwetterperiode erkennen (Juli). Diese Tendenz verstärkte sich noch bei dem ausgesprochen heißen Wetter im August.
- 2) Besonders stark von dieser Steigerung waren Fichten aus den Schädigungsgruppen 2 und 3 betroffen.
- 3) Die Unterschiede zwischen Kontrolle (niedrigste Werte) und "*Deschampsia flexuosa*" (höchste Werte) nahmen zu.

Wasserpotentiale bei b): Wetterverschlechterung = einsetzender Regen (Tab. 14)

- 1) Die Werte für das Wasserpotential sanken wieder
- 2) Es erfolgte eine Angleichung der Werte aller Behandlungen

Wasserpotentiale bei c): Schlechtwetterperiode (Tab. 15)

- 1) Die Tendenz zur Angleichung bleibt erhalten. Eine völlige Angleichung der Werte erfolgt aber auch nach längerer Regenzeit nicht.

Tab. 13: Wasserpotentiale (trocken, während langer Schönwetterperiode)

	11.7.73 at	14.7.73 at	10.8.73 at	14.8.73 at	15.8.73 at
Kontrolle	15.4 $\pm$ 0.2	15.8 $\pm$ 0.1	17.0 $\pm$ 0.1	16.4 $\pm$ 0.3	18.2 $\pm$ 0.2
Cirsium arvense	15.9. $\pm$ 0.2	16.3 $\pm$ 0.3	18.8 $\pm$ 2	15.8 $\pm$ 0.2	16.3 $\pm$ 0.3
Galium mollugo	17.1 $\pm$ 0.1	18.0 $\pm$ 0.8	18.0 $\pm$ 0.8	23.5 $\pm$ 1	22.6 $\pm$ 1
Calamagrostis epigeios	17.2 $\pm$ 0	19.2 $\pm$ 1	18.0 $\pm$ 1	25.4 $\pm$ 1	25.5 $\pm$ 1
Deschampsia flexuosa	18.3 $\pm$ 0.1	19.0 $\pm$ 0.8	18.4 $\pm$ 1.8	22.0 $\pm$ 1	26.0 $\pm$ 1.5

Tab. 14: Wasserpotentiale (feucht, nach Schönwetterperiode)

	20.7.73 at	23.7.73 at
Kontrolle	14.8 $\pm$ 1	11.9 $\pm$ 1.5
Cirsium arvense	14.8 $\pm$ 1	12.2 $\pm$ 1
Galium mollugo	15.1 $\pm$ 0.8	13.8 $\pm$ 1.8
Calamagrostis epigeios	15.3 $\pm$ 1.2	14.6 $\pm$ 1.5
Deschampsia flexuosa	15.4 $\pm$ 1	14.3 $\pm$ 1

Tab. 15: Wasserpotentiale (feucht, während Schlechtwetterperiode)

	25.7.73 at	26.7.73 at	9.10.73 at	12.10.73 (kalt) at
Kontrolle	12.0 ± 1	11.6 ± 0.8	7.0 ± 0.2	3.0 ± 0.2
Cirsium arvense	12.1 ± 1.2	11.3 ± 0.8	8.9 ± 0.5	3.8 ± 0.1
Galium mollugo	13.5 ± 1.6	13.0 ± 1	13.8 ± 0.5	4.0 ± 0
Calamagrostis epigeios	13.5 ± 2	13.2 ± 0.7	13.4 ± 0.3	4.3 ± 0.2
Deschampsia flexuosa	14.1 ± 1	13.7 ± 0.9	13.0 ± 0.5	4.4 ± 0.3

Tab. 16: Wasserpotentiale (trocken, nach Schlechtwetterperiode)

	18.9.73 at	19.9.73 at
Kontrolle	10.5 ± 0.5	12.2 ± 0.4
Cirsium arvense	9.1 ± 0.8	12.6 ± 0.3
Galium mollugo	10.0 ± 1.2	13.6 ± 1.1
Calamagrostis epigeios	11.0 ± 1	14.4 ± 1.4
Deschampsia flexuosa	13.8 ± 0.5	13.0 ± 1

- 2) Bei sinkenden Temperaturen (12.10.73) sinken auch ganz allgemein die Werte für das Wasserpotential. Es bestehen nur noch geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungen.

Wasserpotentiale bei d): Wetterbesserung, nach Regen (Tab. 16)

Allmählicher Anstieg der Werte für das Wasserpotential. Differenzierung zwischen Kontrolle und Unkrautbehandlungen erfolgt sehr langsam.

Zusätzliche Messungen ergaben Unterschiede zwischen den Behandlungen "viel Unkraut" und "wenig Unkraut" v.a. während der Zeiten des Wasserstresses. Bei "Reitgras viel" und "Schmiele viel" lagen die Wasserpotentiale um 2 bis 2,5 at über denen von "Reitgras wenig" bzw. Schmiele wenig!

3.3 Nährstoffversorgung

Um Einblicke in die quantitative und qualitative Nährstoffversorgung der Fichten zu gewinnen, sowie die Aufnahme der zugegebenen Nährlösung zu ermitteln, wurde der letzte Nadeljahrgang bei allen Varianten auf den Gehalt an Nährstoffen untersucht.

Die Ergebnisse der Nadelanalysen sind in Tabelle 18 zusammengefaßt. Zum Vergleich werden in Tabelle 17 die Werte für Nährstoffkonzentrationen

Tab. 17: Grenzbereiche der Nährstoffkonzentrationen in den Nadeln von Fichte (WEHRMANN 1963)

Nährstoff	Mangel	Höchsterttrag
N %	0,8 - 1,3	1,2 - 2,0
P %	0,05 - 0,11	0,13 - 0,20
K %	0,15 - 0,33	0,45 - 1,25
Mg%	0,02 - 0,07	0,11
Ca%	0,1	0,08 - 1,35

Tab. 18: Nadelanalysen

	Alter	N %	Asche %	Ca %	P %	Mg %	K %
Kontrolle	4j.	1,40	5,0	0,40	0,59	0,58	0,69
Kontrolle	4j.	1,57	5,2	0,52	0,57	0,48	0,75
Rubus fruticosus	4j.	1,48	4,4	0,36	0,48	0,55	0,64
Rubus fruticosus	4j.	1,66	4,7	0,42	0,50	0,59	0,58
Cirsium arvense wenig	4j.	1,61	5,2	0,44	0,52	0,56	0,79
Cirsium arvense viel	4j.	1,59	5,5	0,48	0,60	0,64	0,75
Galium mollugo	4j.	1,10	5,2	0,38	0,60	0,57	0,79
Calamagrostis epigeios viel	4j.	1,45	4,9	0,38	0,56	0,55	0,79
Calamagrostis epigeios wenig	4j.	1,49	5,6	0,42	0,50	0,68	0,86
Deschampsia flexuosa wenig	4j.	1,37	5,6	0,44	0,52	0,66	0,79
Deschampsia flexuosa viel	4j.	1,67	5,9	0,56	0,67	0,68	0,79
Kontrolle	3j.	2,10	5,1	0,50	0,32	0,70	0,48
Rubus fruticosus	3j.	1,75	4,0	0,46	0,32	0,50	0,48
Cirsium arvense	3j.	2,05	4,5	0,52	0,36	0,65	0,35
Galium mollugo	3j.	1,72	4,0	0,45	0,35	0,55	0,36
Calamagrostis epigeios	3j.	1,75	4,2	0,42	0,41	0,50	0,51
Deschampsia flexuosa	3j.	1,59	4,5	0,47	0,45	0,54	0,54

Bei den Behandlungen Distel wenig/viel und Reitgras wenig/viel (Fichte 2) zeigte sich, daß die Nährstoffspiegelwerte nur wenig von der Dichte des Unkrautbesatzes abhingen, denn "viel Unkraut" führte im allgemeinen nur zu etwas geringeren Werten als "wenig Unkraut".

Dieser Trend, der sich mehr oder wenig deutlich zeigte, kehrt sich bei der Schmieie völlig um. Hier liegen die Werte für "Schmieie viel" bei N, Ca und P deutlich über denen von "Schmieie wenig". Etwas weniger deutlich gilt dies auch für Mg, während für K keine Unterschiede festzustellen waren.

Deshalb wurden für die statistische Auswertung (Varianzanalyse) bei Distel und Reitgras die Mittelwerte für viel und wenig Unkraut gebildet, während bei der Schmieie eine Trennung nach viel und wenig Unkraut angezeigt war.

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung für Fichte 2 sind in den Übersichten 16-21 dargestellt. Wegen des geringen Versuchsmaterials standen nur bei Fichte 2 genügend Parallelen für eine statistische Auswertung zur Verfügung. Bei Fichte 1 konnten die Analysen nicht wiederholt werden.

Die Gehalte an N und Ca liegen bei Fichte 1 i.a. deutlich über denen von Fichte 2, die P- und K-Gehalte sind dagegen bei Fichte 1 niedriger. Insgesamt wiesen die Behandlungen nur eine geringe Anzahl von gesicherten Unterschieden in der Nährstoffkonzentration der Fichtennadeln auf. Das bedeutet, daß die Nährstoffversorgung der Fichten sehr gleichmäßig und ausreichend war.

3.4. Phänologische Kriterien und weitere Beobachtungen

3.4.1 Nadelverfärbungen

Im Herbst 1972, im Frühjahr 1973, im Herbst 1973 und im Frühjahr 1974 konnte eine unterschiedlich starke Gelbfärbung der Nadeln beobachtet und bonitiert werden.

Übersicht 16: Statistische Sicherung des N-Gehaltes

	Kontrolle	Rubus fruticosus	Cirsium arvense	Galium mollugo	Calamagrostis epigeios	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle							
Rubus fruticosus	+			+		+	
Cirsium arvense	-	-		+	+	+	+
Galium mollugo	+	+	+		+	+	+
Calamagrostis epigeios	-	-	+	+		+	+
Deschampsia flexuosa wenig	-	+	+	+	+		+
Deschampsia flexuosa viel	+	-	+	+	+	+	

Übersicht 17: Statistische Sicherung des Aschegehaltes

	Kontrolle	Rubus fruticosus	Cirsium arvense	Galium mollugo	Calamagrostis epigeios	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle		+	-	-	-	+	+
Rubus fruticosus	+		+	+	+	+	+
Cirsium arvense	-	+		-	-	+	+
Galium mollugo	-	+	-		-	+	+
Calamagrostis epigeios	-	+	-	-		-	+
Deschampsia flexuosa wenig	+	+	+	+	-		+
Deschampsia flexuosa viel	+	+	+	+	+	+	

Übersicht 18: Statistische Sicherung des Ca-Gehaltes

	Kontrolle	Rubus fruticosus	Cirsium arvense	Galium mollugo	Calamagrostis epigeios	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle	-	-	-	+	-	-	+
Rubus fruticosus	-	-	+	-	-	-	+
Cirsium arvense	-	+	-	-	+	+	+
Galium mollugo	+	-	-	-	-	+	+
Calamagrostis epigeios	-	-	+	-	-	+	+
Deschampsia flexuosa wenig	-	-	+	+	+	-	+
Deschampsia flexuosa viel	+	+	+	+	+	+	-

Übersicht 19: Statistische Sicherung des P-Gehaltes

	Kontrolle	Rubus fruticosus	Cirsium arvense	Galium mollugo	Calamagrostis epigeios	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle	-	+	-	+	-	+	+
Rubus fruticosus	+	-	+	+	-	+	+
Cirsium arvense	-	+	-	-	-	+	+
Galium mollugo	+	+	-	-	+	+	+
Calamagrostis epigeios	-	-	-	+	-	-	+
Deschampsia flexuosa wenig	+	+	-	+	-	-	+
Deschampsia flexuosa viel	+	+	+	+	+	+	-

Die geringste Gelbfärbung wiesen Nadeln der Fichten auf, die mit *Cirsium arvense* L. zusammen in einem Topf wuchsen. Mit einer geringen Abstufung folgten die Kontrollpflanzen und die Behandlung "*Rubus fruticosus* L."

Noch stärkere Verfärbungen wiesen die von *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth beeinflussten Fichten auf. Die stärkste Gelbfärbung trat jedoch bei den Fichten aus den Töpfen mit *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. und besonders an denen mit *Galium mollugo* L. auf.

Da ein akuter Nährstoffmangel auf Grund der Nadelanalysen aus-
schied, wurde im Frühjahr 1974 von den letztjährigen Nadeln der Fichte 2 eine Chlorophyll- und Pigmentanalyse (HAGER und MEYER BERTENRATH 19) durchgeführt (Tabelle 20). Sie bestätigte im wesentlichen die optisch auffallenden Unterschiede. So weist Distelbehandlung durchweg hohe und höchste Werte auf (Ausnahme Chlorophyll b).

Auch das andere Extrem (*Galium mollugo* L.) findet in den Analysen-
werten seinen Niederschlag: Fichten die mit Labkraut in einem Topf wuchsen, besaßen die niedrigsten Werte.

Die Analyse ergab ein Weiteres: die Werte der Behandlungen, die nach "viel" und "wenig" Unkraut getrennt waren (Reitgras und Schmie-
le), lagen für die Behandlung "viel Unkraut" über denen von "wenig Unkraut" (Gehalt an Phaeophytin, Chlorophyll a und b)!

Bei den Karotinen, bei Lutein und Zeaxanthin gilt dies auch für Reitgras, während sich das Verhältnis bei der Schmie-
le umkehrte. Um die Werte, die für "Fichte in Vermiculit" gefunden wurden, mit denen einer Fichte eines normalen Pflanzgartenstandortes verglei-
chen zu können, fand 14 Tage später eine Vergleichsuntersuchung nach der Methode "Mac Kinney" statt. Bei dieser Methode handelt es sich um ein abgekürztes und etwas weniger genaues Verfahren, das aber in diesem Fall, bei dem es nur um einen Vergleich der Chlorophyll-
gehalte zwischen den Kontrollpflanzen der Fichte 2 und gleichal-
ten Fichten, gleicher Herkunft, jedoch in natürlichem Substrat auf-
gewachsen, ging, völlig genügt.

Übersicht 20: Statistische Sicherung des Mg-Gehaltes

	Kontrolle	Rubus fruticosus	Cirsium arvense	Galium mollugo	Calamagrostis epigeios	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle	-	-	-	-	-	+	+
Rubus fruticosus	-	-	-	-	-	+	+
Cirsium arvense	-	-	-	-	-	+	+
Galium mollugo	-	-	-	-	-	+	+
Calamagrostis epigeios	-	-	-	-	-	+	+
Deschampsia flexuosa wenig	+	+	-	+	-	-	+
Deschampsia flexuosa viel	+	+	+	+	-	+	-

Übersicht 21: Statistische Sicherung des K-Gehaltes

	Kontrolle	Rubus fruticosus	Cirsium arvense	Galium mollugo	Calamagrostis epigeios	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel
Kontrolle	-	+	-	+	+	+	+
Rubus fruticosus	-	+	+	+	+	+	+
Cirsium arvense	-	+	-	-	-	-	-
Galium mollugo	+	+	-	-	-	-	-
Calamagrostis epigeios	+	+	-	-	-	-	-
Deschampsia flexuosa wenig	+	+	-	-	-	-	-
Deschampsia flexuosa viel	+	+	-	-	-	-	-

Tab. 20: Pigmentanalyse 13.3.74

	Phaeo- phytin	Chloro- phyll a	Chloro- phyll b	Chloro- phyll a+b	Carotin α	Carotin β	Lutein	Zea- xantin	Gesamt- pigment
Kontrolle	a) 0,0356 b) 100	1,3490 100	0,3841 100	1,7686 100	0,1324 100	0,1341 100	0,3060 100	0,3121 100	2,6533 100
Rubus fruticosus	a) 0,0358 b) 100,6	1,4626 108,4	0,4051 105,5	1,9034 107,6	0,1371 103,5	0,1354 101	0,3118 101,9	0,3166 101,4	2,8044 105,7
Cirsium arvense	a) 0,0611 b) 171,6	1,6650 123,4	0,2580 67,2	1,9841 112,2	0,1362 102,9	0,1312 97,8	0,3102 101,4	0,3121 100	2,8799 108,5
Galium mollugo	a) 0,0306 b) 85,9	0,8788 65,1	0,2487 64,7	1,1582 65,5	0,1230 92,9	0,1234 92	0,2550 83,3	0,2584 82,8	1,9180 72,3
Calamagro- stis epigeios wenig	a) 0,0484 b) 135,9	1,2311 91,3	0,3780 98,4	1,6576 93,7	0,1178 89	0,1202 89,6	0,2746 89,7	0,2784 89,2	2,4486 92,3
Calama- grostis epigeios viel	a) 0,0509 b) 143	1,3524 100,2	0,4071 106	1,8104 102,4	0,1243 93,9	0,1243 92,7	0,3080 100,6	0,3100 99,3	2,6770 100,9
Deschampsia flexuosa wenig	a) 0,0421 b) 118,2	1,2776 94,7	0,3563 92,8	1,6760 94,8	0,1377 104	0,1360 101,4	0,3054 99,8	0,3100 99,3	2,5651 96,7
Deschampsia flexuosa viel	a) 0,0512 b) 144	1,3755 102	0,4158 108,2	1,8424 104,2	0,1300 98,2	0,1305 97,3	0,3015 98,5	0,3032 97,1	2,7076 102

a) mg/g Trockengewicht
b) % der Kontrolle

Die Analyse ergab eine gute Übereinstimmung zwischen den Versuchspflanzen (in Vermiculit) und Fichten aus natürlichem Boden. Im zweiten Fall lagen die Ergebnisse um ca. 10 % höher, was bei dieser Methode innerhalb der Meßgenauigkeit liegt.

3.4.2 Austreiben der Fichten im Frühjahr

Am 23.4.1974 wurde das Austreiben der Fichten beobachtet und registriert (Tabelle 21). Es sollte dabei die Frage geklärt werden, ob der Austreibzeitpunkt von Unkräutern beeinflusst werden kann. Dabei wurde unterschieden:

- a) Fichten mit stark geschwollene Knospen
- b) Fichten, bei denen einzelne Knospen bereits aufgebrochen waren

Fichte 1 befand sich zu diesem Zeitpunkt in einem fortgeschrittenen Stadium bezüglich des Austreibens als Fichte 2. In beiden Fällen waren wiederum die Fichten aus den Töpfen mit Distel am weitesten ausgetrieben.

Es folgten die Behandlungen Himbeere bzw. Brombeere, welche sich in ihrer Wirkung auf die Fichten praktisch nicht unterschieden.

An 3. Stelle in der Reihenfolge des Austreibens standen die Kontrollpflanzen.

Es folgten an 4. Stelle die Fichten, die in Konkurrenz mit Reitgras, Schmielen und Labkraut aufwuchsen.

Bei Fichte 2 setzte sich die Gruppe "Galium mollugo" noch einmal deutlich von den übrigen Behandlungen ab (keine einzige Fichte dieser Gruppe zeigte vollständig aufgebrochene Knospen).

3.4.3 Abschlußzeitpunkt der Höhentriebeentwicklung

Ende Juni 1973 wurde auch der Entwicklungszustand der Höhentriebe registriert (voll entwickelte Triebe, bei denen die Verholzung begann) mit beginnender Bräunung der bisher hellgrünen Triebachse.

Tab. 21: Austreibezeitpunkt (23.4.74)

Fichte 1			Fichte 2		
			Z der		
			Vers.Pfl.		
Kontrolle	von 21 Fi:	15 x a = 71,4	Kontrolle	von 25 Fi:	8 x a = 32,0
		2 x b = 9,5			1 x b = 4,0
Rubus	von 25 Fi:	16 x a = 64,0	Rubus	von 60 Fi:	26 x a = 43,3
idaeus		7 x b = 28,0	idaeus		5 x b = 8,3
Rubus	von 25 Fi:	16 x a = 64,0	Rubus	von 35 Fi:	15 x a = 42,9
frutico-		7 x b = 28,0	fruticosus		2 x b = 5,7
sus					
Cirsium	von 47 Fi:	18 x a = 38,3	Cirsium	von 77 Fi:	9 x a = 50,6
arvense		29 x b = 61,7	arvense		17 x b = 22,1
Galium	von 42 Fi:	18 x a = 42,8	Galium	von 75 Fi:	19 x a = 25,3
mollugo		8 x b = 19,0	mollugo		0 x b = 0
Calamagrostis		10 x a = 41,7	Calamagrostis		12 x a = 24,5
epigeios	von 24 Fi:	4 x b = 16,7	epigeios	von 49 Fi:	3 x b = 6,1
Deschampsia		6 x a	Deschampsia		15 x a = 30,0
flexuosa	von 8 Fi:	1 x b	flexuosa	von 50 Fi:	3 x b = 6,0

a) Fichte mit stark geschwollenen Knospen

b) Fichte mit bereits aufgebrochenen Knospen

Tab. 22: H8hentriebentwicklung im Juni 1973

	Kontrolle	Rubus fruticosus	Rubus idaeus	Cirsium arvense wenig	Cirsium arvense viel	Galium mollugo wenig	Galium mollugo viel	Calamagrostis epigeios wenig	Calamagrostis epigeios viel	Deschampsia flexuosa wenig	Deschampsia flexuosa viel	
Zahl der voll entwickelten Gipfeltriebe je 25 Fichten	11,5	12,5	11,5	5	5,5	4	1,5	2	0,5	0	0	(Fi 1)
	17,5	15,25	13,75	11	12	6	2,5	5,5	4	1,5	0,5	(Fi 2)

Ob die in der Tabelle 22 wiedergegebenen Zahlen auf Unterschiede im Austreibzeitpunkt, einer allgemeinen Entwicklungshemmung durch die Unkräuter oder auf andere Faktoren zurückzuführen sind, konnte nicht geklärt werden.

3.4.4 pH-Wert

Der pH-Wert, der im Frühjahr 1973 auf ungefähr 5,5 eingestellt worden war (durch Zugabe von H_3PO_4), wurde im Frühjahr 1974 bei Fichte 2 erneut gemessen (1 - n KCl)

Tab. 23: pH-Werte im Frühjahr 1974

Behandlung	Kontrolle	Rubus fruti- cosus	Rubus idaeus	Cirsium arvense	Galium mollugo	Calama- grostis epigeios	Deschamp- sia flexuosa
pH	6,5	6,4	6,3	6,8	7,0	7,0	6,9

Die pH-Werte hatten sich während der Vegetationsperiode 1973 um durchschnittlich 1,5 bis 2 Stufen erhöht. Die Kontrolle und die Pflanzen der Schädigungsgruppe 1 wiesen dabei die niedrigste Steigerungsrate auf.

3.5 Versuche zur Allelopathie

Während bei dem bisher besprochenen Freilandtopfversuch die Wirkung von Unkräutern auf Fichten in mehr oder weniger natürlicher Umgebung getestet wurde, sollte bei einer zweiten Serie von Versuchen die Wirkung von wässrigen Extrakten (s.S 18) dieser Unkräuter auf Fichtenkeimlinge geprüft werden.

1. Laborexperimente

Hierbei wurden ausgewertet:

- Wurzellänge der Keimlinge nach 10-tägigem Wachstum auf extrakt-
getränktem Filterpapier

- **Gesamtrockengewichte dieser Keimlinge**

Diese Versuche brachten keine eindeutigen Ergebnisse. Es konnten keine Trends einer Beeinflussung festgestellt werden.

2. Gewächshausexperimente

Nach der Auswertung einer ersten Versuchsreihe im März/April 1973 ergab sich, daß auch hier Wurzellänge, Sproßlänge und Gewicht der Sämlinge keiner Beeinflussung durch die Extrakte unterlagen. Anders dagegen liegen die Verhältnisse bei der Seitenwurzelentwicklung. In Tabelle 24 ist die durchschnittliche Zahl der Seitenwurzeln pro Topf (7 ausgewertete Fichtensämlinge) wiedergegeben (März/April 1973). Während die Unterschiede in der Wirkung der Extrakte aus Gesamtpflanzen in Abhängigkeit vom Gewinnungszeitpunkt (Sommer bzw. Herbst) gering blieben, ging von den Wurzelextrakten ein deutlicherer Anreiz zur Seitenwurzelbildung bei den behandelten Fichten aus.

Tab. 24: Seitenwurzelentwicklung März 1973

	Gesamtpflanze, lufttrocken Sommer	Wurzel, lufttrocken Herbst	Wurzel, lufttrocken Herbst
<i>Cirsium arvense</i>	9,0	11,25	14,0
<i>Calamagrostis epigeios</i>	9,75	9,75	13,75
<i>Rubus fruticosus</i>	11,25	9,50	15,75
<i>Galium mollugo</i>	14,75	5,75	-
<i>Deschampsia flexuosa</i>	8,0	6,75	12,50
<i>Rubus idaeus</i>	7,75	-	6,25
Kontrolle	2,75	2,75	2,75

Deutlich und signifikant unterschieden sich diese Gruppen aber von der Kontrollgruppe (ohne Extraktbehandlung).

Übersicht 22: Statistische Sicherung der Seitenwurzelentwicklung
April 1973

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		-	-	(-)	(-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
2	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
3	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
4	(-)	-	-		-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	(-)	-
5	(-)	-	-	-		+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	(+)
6	-	-	-	+	+		-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+
7	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
8	-	-	-	-	-	+	-		-	-	+	-	-	-	-	-	+
9	-	-	-	-	-	+	-	-		-	-	+	-	-	+	-	(+)
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	+
11	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-		+	-	-	+	-	+
12	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+		-	-	-	-	+
13	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	(+)
14	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
15	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-		-	+
16	-	-	-	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		+
17	-	-	-	-	(+)	+	+	+	(+)	+	+	+	(+)	-	+	+	

Gruppe 1: *Cirsium arvense*

Gesamtpflanze, lufttrocken, Herbst

2: *Calamagrostis epigeios*

" " "

3: *Rubus fruticosus*

" " "

4: *Galium mollugo*

" " "

5: *Deschampsia flexuosa*

" " "

6: *Galium mollugo*

" " Sommer

7: *Calamagrostis epigeios*

" " "

8: *Cirsium arvense*

" " "

9: *Rubus idaeus*

" " "

10: *Rubus fruticosus*

" " "

11: *Deschampsia flexuosa*

" " "

12: *Cirsium arvense*

Wurzel, lufttrocken, Herbst

13: *Calamagrostis epigeios*

" " "

14: *Rubus idaeus*

" " "

15: *Rubus fruticosus*

" " "

16: *Deschampsia flexuosa*

" " "

17: Kontrolle

" " "

Die statistische Auswertung (Übersicht 22) ergibt, daß sich die Extraktbehandlung zwar hochsignifikant ($p=0,999$) auf die Seitenwurzelentwicklung auswirkte, daß aber zwischen den Behandlungen, d.h. zwischen den einzelnen Extrakten, dem Sammlungszeitpunkt (Sommer oder Herbst) des Unkrauts oder der Herkunft (Gesamtpflanze oder Wurzelextrakt) zwar Unterschiede bestehen, sich diese aber statistisch nicht sichern lassen. Dieser Gewächshausversuch wurde im Juni, im September und im darauffolgenden Februar wiederholt. Dabei wurde aber nur noch die Seitenwurzelentwicklung beobachtet.

Es zeigte sich, daß die Wirkung der Extrakte zwar nachließ (die Bildung von Seitenwurzeln trat nicht schon beim 4 Wochen alten Sämling, sondern z.T. erst nach weiteren 4 Wochen auf), die Tendenz aber die gleiche blieb: bei extraktbehandelten Fichtenkeimlingen setzt eine verstärkte Seitenwurzelentwicklung ein. Statistisch gesicherte Unterschiede zwischen den Extraktarten konnten mit letzter Sicherheit nicht festgestellt werden.

4 Diskussion

Ein wesentlicher Gesichtspunkt bei der Anlage der Versuche war ihre Reproduzierbarkeit. Dabei mußte notgedrungen auf größere Praxisnähe verzichtet werden, Ziel der Untersuchungen sollte auch sein, die ineinander verwobenen Faktoren, die das Zusammenleben einer Pflanzengemeinschaft beeinflussen, unter einheitlichen Versuchsbedingungen zu erfassen und schrittweise zu entwirren.

Unter den gegebenen Verhältnissen, waren die gesteckten Ziele am besten mittels eines Topfversuches zu erreichen, bei dem unter einheitlichen Umweltbedingungen der Einfluß einer Reihe von Unkräutern auf junge Fichten getestet werden konnte.

Die Topfgröße wurde so gewählt, daß die Fichtenwurzeln sich noch genügend entfalten konnten. Sie hatten aber keine Möglichkeit der Unkrautwurzelkonkurrenz nach unten auszuweichen, was den Konkurrenzdruck verstärkt haben dürfte.

Nach einem Jahr war die Bestockung der Töpfe gesichert, so daß keine Störung mehr durch Nachbessern auftrat.

In Ermangelung eines geeigneten Gewächshauses, in dem auch die Außenfaktoren Niederschläge, Temperatur und Sonneneinstrahlung mehr oder weniger zu kontrollieren und zu beeinflussen sind, mußten die Versuche ins Freiland verlegt werden. Das brachte eine bessere Übertragbarkeit in die Praxis, aber schlechtere Kontrollierbarkeit.

Um die unkontrollierten Einflüsse eines natürlichen Substrats auf das Konkurrenzverhalten der Versuchspflanzen auszuschalten, fand Vermiculit Nr. 2 als einheitliches Wachstumssubstrat Verwendung. Es eignet sich nach BLUM (1970) wegen seines günstigen Wärmehaushalts (geringe Temperaturschwankungen), seines guten Wasser- und Lufthaushalts, der bei geringer Oberflächenverdunstung ein hohes Wasserspeichungsvermögen und eine optimale Durchlüftung ermöglicht und wegen seiner Sorptionseigenschaften, die denen eines natürlichen Bodens entsprechen, besonders gut für pflanzenökologische

Untersuchungen.

Dabei mußte in Kauf genommen werden, daß wegen des hohen pH Wertes (pH 8-9) und des Fehlens von Stickstoff und Phosphor entsprechende Präparationen notwendig waren (Knopsche Nährlösung).

Da mit Fichtenpflanzen gearbeitet werden sollte, die in herbizid-freiem Substrat angezogen worden waren, mußte auf zwei verschiedene, wenn auch für den Anbau auf der Schotterebene gleichermaßen geeignete Herkünfte, zurückgegriffen werden (s.S. 11). Es ist nicht auszuschließen, daß dort, wo Unterschiede in den Ergebnissen zwischen Fichte 1 und Fichte 2 auftraten, neben dem Alter auch die unterschiedliche genetische Herkunft des Pflanzenmaterials eine Rolle spielte.

Unberücksichtigt blieben bei der Erfassung der Konkurrenzwirkungen die Einflüsse des Lichts und der mechanischen Verdämmung.

Starke Verunkrautung führt nach OLBERG (1963) zu einer Reduktion des Lichtgenusses bis zu 5-13 % des normalen Tageslichts. Dies ist aber nicht so bedenklich, wie es auf den ersten Blick scheint, da die Fichten i.a. sehr bald über das Unkraut hinauswachsen und es dann selbst durch Lichtentzug unterdrücken.

Auch ist in einigen Fällen eine Wuchsbeschleunigung - wenn auch bei gleichzeitiger Reduktion des Dickenwachstums - beobachtet worden, indem die Fichten dem Licht förmlich entgegenwachsen (STRAUB 1971, KLEBINGAT 1971). In der Praxis könnte diesem Problem zudem durch Verwendung größerer Pflanzen, die den Fichten einen Vorsprung vor den Unkräutern verschaffen, begegnet werden.

Die Lichtkonkurrenz macht sich außerdem beim Wurzelwachstum bemerkbar. Sie wirkt sich nach OLBERG (1963) hier stärker aus als auf das Längenwachstum. Demzufolge dürfte die Bedeutung dieses Faktors nachlassen, wenn die Fichten eine gewisse Höhe erreicht haben.

Zur Erfassung des Zuwachses wurde - wie in der Landwirtschaft - das Frischgewicht von Sproß und Wurzel der Testpflanzen bestimmt. Die Feststellung von OLBERG (1963), daß das Wurzelgewicht durch Unkräuter stärker beeinflusst wird als das Sproßgewicht konnte für alle hier verwendeten Unkrautarten bestätigt werden, wie aus Tab. 6 und Tab. 12 hervorgeht.

Zudem zeigt ein Vergleich der Sproß- und Wurzelgewichte von Fichte 2 eine gute Übereinstimmung hinsichtlich der Gewichtsverluste in Abhängigkeit von den verwendeten Unkrautarten.

Bei dem auffallend niedrigen Wert für *Galium mollugo* wenig (Tab. 6) bleibt die Ursache unklar.

Die beschriebene gute Übereinstimmung zwischen Wurzel- und Sproßteilen und deren Abhängigkeit von der Unkrautkonkurrenz dürfte auch dann erhalten bleiben, wenn man bei den Behandlungen mit wurzelintensiven Unkräutern mit methodenbedingten Wurzelverlusten von schätzungsweise 20-25 % rechnet.

Da eine Zuwachserfassung durch Wägung bei forstlichen Objekten wohl nur in den seltensten Fällen in Frage kommt, müssen andere Faktoren herangezogen werden, die den Zuwachs repräsentieren. V. ZITZEWITZ (1964, 1965, 1966) schlug als Meßkriterium für den Zuwachs im Rahmen der Erfolgsermittlung beim Herbizideinsatz die Pflanzenhöhe und damit den Zuwachs des Terminaltriebes vor.

Es gibt jedoch Hinweise dafür, daß dieses augenfälligste Merkmal am wenigsten durch Unkrautkonkurrenz beeinflusst wird HANSCHKE 1968, HUSS 1973, KLEBINGAT 1970, 1971, OLBERG 1963, STRAUB 1971. Dies konnte bei dieser Untersuchung nicht bestätigt werden. Mit Ausnahme der Höhentriebmessung bei Fichte 2 im September 1973 konnten bei allen Messungen des zweiten Versuchsjahres die Zuwachsunterschiede in Abhängigkeit von den Unkräutern zumindest von der Kontrolle statistisch gesichert werden.

Um die umstrittene Höhenzuwachsermittlung zu umgehen, verwenden die oben genannten Autoren sowie GÜRTH (1970) den Sproßbasis- oder Wurzelhalsdurchmesser als Meßgröße. Die Unterschiede im WHD ließen sich in den meisten Fällen statistisch sichern (Übersichten 6 und 7): alle Gruppen gegen die Kontrolle, die meisten auch untereinander. Der WHD erwies sich somit als empfindlicher Indikator für den Zuwachs.

Es muß betont werden, daß die Erfassung dieses Kriteriums besondere Sorgfalt erfordert. MÜNCH (1973) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, wie problematisch die Ermittlung des WHD sein kann:

- seine exakte Lage unmittelbar über dem Erdboden ist schwer zu bestimmen
- eine Verschiebung der Meßstelle um nur wenige mm kann zu erheblichen Änderungen der Werte führen
- gerade im bodennahen Bereich kommt es oft zu Verschmutzungen durch Sand und Humusteile.

MÜNCH schlägt statt dessen das 100-Nadelgewicht (HNG) (=Trockengewicht von 100 Nadeln des Höhentriebs oder der letzten Seitentriebe) als mit weniger Meßfehlern gehaftetes Kriterium vor. In der vorliegenden Untersuchung reagierte jedoch das HNG nicht ganz eindeutig auf die Unkrautbehandlung (Übersicht 11 und 12).

Deutliche, statistisch gesicherte Unterschiede traten hingegen im Trockengewicht von Nadeln der letztjährigen Triebe zu Tage (Übersicht 10). Zusammenhänge zwischen Nadelmasse und Triebblänge sind zu vermuten.

Nach den Ergebnissen dieser Arbeit können folgende Zuwachskriterien als besonders empfindlich, und daher für die Erfassung von Unkrautkonkurrenzwirkungen gut geeignet, gelten:

- 1) der Wurzelhalsdurchmesser
- 2) das Gewicht der ober/unterirdischen Teile
- 3) der Längenzuwachs der Haupttriebe
- 4) die Nadel Trockengewichte

Da die Bestimmung der Nadelrockengewichte sehr aufwendig ist, wird sie für die meisten forstlichen Untersuchungen ausscheiden müssen.

Als weniger geeignet erwies sich die Nadellänge. Hier ließen sich die Unterschiede kaum sichern (Übersichten 13 und 14).

Alle bisher als positiv beschriebenen Verfahren zur Zuwachsermittlung ermöglichen übereinstimmend, die verwendeten Unkräuter nach ihrer Wirkung in 3 Schädigungsgruppen einzuteilen (s.S.19).

- 1) nicht, oder nur wenig schädliche Unkräuter (Himbeere, Brombeere, Distel)
- 2) mäßig hemmendes Unkraut (Labkraut)
- 3) stärker schädigende Unkräuter (Reitgras u. Schmiele)

Diese Einteilung bewährte sich auch bei den anderen Untersuchungen.

Der Wassergehalt einer Pflanze hängt zwar mit dem Wassergehalt des Bodens zusammen, jedoch spielen die Eigenschaften des Bodens, Höhe des Grundwassers, Niederschläge, Wärme und Sonneneinstrahlung eine Rolle (SLAYTER 1967, KLUTE und PETERS 1969): Deshalb kann eine Bodenfeuchtigkeitsbestimmung noch keinen eindeutigen Aufschluß über die Wasserversorgung einer Pflanze liefern. Außerdem wäre es nur ein grober Mittelwert, selbst wenn er aus dem Wurzelbereich gewonnen würde, weil die eigentliche Zone der Wasseraufnahme im Bereich der Wurzelhaare nur eine fast punktförmige ist.

Eine genaue Bestimmung des Wasserpotentials ist praktisch nur im Labor mit der Thermoelement-Psychrometermethode (=Dampfdruckmethode) möglich (WIEBE, BRAUN, DANIEL and CAMPBELL 1969). Für ökologische Untersuchungen wird im allgemeinen auch die Methode nach Scholander (s.S.14) genügen.

Die Bedeutung der Wasserkonkurrenz zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen hängt sehr von der Beschaffenheit des Standorts und den Jahresniederschlägen ab. Ihre Bedeutung wurde bisher oft unterschätzt (OLBERG 1963).

Insbesondere bei Schädigung des Wurzelwachstums der Fichte wie sie sich unter dem Einfluß von *Deschampsia flexuosa* und *Calamagrostis epigeios* nachweisen läßt, kann die Konkurrenz um Wasser zu einem entscheidenden Faktor bei den Unkrautwirkungen werden. Das gleiche gilt auch für besonders trockene Standorte und Jahre (MILTHORPE 1961). Dies zeigte sich auch recht eindrucksvoll während einer langen Schönwetterperiode im August 1973 (Tab. 13) als die Wasserpotentiale der Fichte in Anwesenheit von Schmielen und Reitgras auf 25-26 at anstiegen, im Vergleich zu 16-18 at bei der Kontrolle.

Ein Grund dafür dürfte in der schlechten Wurzel Ausbildung dieser Fichten zu suchen sein (s. Abb. 22 und 23), was wieder auf den Einfluß dieser Unkräuter zurückzuführen ist, denn ein Wasserentzug durch die ebenso vitale Distel (s. Abb. 11 und 20) bewirkte wohl wegen der besseren Wurzel Ausbildung dieser Fichten, praktisch keine Änderung des Wasserpotentials. Es war sogar eine schwach positive Wirkung festzustellen, was vermutlich neben dem gut ausgebildeten Wurzelwerk auch auf die Beschattung von Seiten der Distel und damit auf die verringerte Transpiration und Bodenverdunstung zurückgeführt werden kann.

Neben Wasser und Licht sind es vor allem die Nährstoffe, die das Gedeihen einer Pflanze bestimmen. Die Konkurrenz um Nährstoffe (allgemein) ist in der Landwirtschaft wohl am häufigsten von allen Konkurrenzerscheinungen untersucht worden, im Gegensatz zur Forstwirtschaft, wo bei den ohnehin relativ wenigen Untersuchungen meist nur der Stickstoff im Vordergrund stand.

Zur Untersuchung des Ernährungszustandes eines Baumes bietet sich die Blatt- bzw. Nadelanalyse an, vor allem in Verbindung mit entsprechenden Spiegelwerten, ^{die} die Mangel- oder Höchstversorgung erkennen lassen (TAMM 1964). Da für die Spiegelwerte kein eigenes Material zur Verfügung stand, mußte auf die Werte zurückgegriffen werden, die WEHRMANN (1963) für Fichte angibt.

Auch hier ist eine einmalige Analyse kritisch zu betrachten (TAMM 1964), da sich in ihr manchmal die äußeren Verhältnisse mehrerer Jahre widerspiegeln.

Diese Gesichtspunkte müssen bei der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Nach WHITE (1954), TAMM (1955), STREBEL (1961), WEHRMANN (1963), und HÖHNE (1964) sind die Monate September bis Dezember besonders gut für die Probenahme geeignet (zitiert nach ZECH 1968). Deshalb wurden in diesem Zeitraum die Nadeln des letzten Nadeljahrgangs geerntet und auf den Gehalt an N,P,K,Ca,Mg und Asche untersucht (Tab. 17 und 19). Die Ursache für den hohen Phosphorspiegel ist möglicherweise in der Tatsache zu suchen, daß im Frühjahr 1973 zur Absenkung des pH-Wertes eine Behandlung mit verdünnter Phosphorsäure vorgenommen wurde.

Die durchweg sehr gute Versorgung mit Nährstoffen läßt den Schluß zu, daß die Reduktion des Längenwachstums, die Hemmung im Dickenwachstum usw. in diesem Fall nicht auf eine Nährstoffkonkurrenz, sondern auf andere Faktoren zurückzuführen sind. Dies trifft auch nach den Erfahrungen von OLBERG (1963) zu, nach der die Nährstoffkonkurrenz auf nährstoffreichen Böden von untergeordneter Bedeutung ist.

Wasser- und Nährstoffkonkurrenz sind nur dann spürbar vorhanden, wenn Wasser oder Nährstoffe für Fichte und Unkraut nicht ausreichen.

Die Nährstoffversorgung hat viele Auswirkungen auf eine Fichte, so u.a. auf die Ausbildung der Mykorrhiza oder (bei Mangelversorgung) auf die Nadelfarbe.

Bei der Mykorrhiza unterscheidet man zwischen endotropher und ektotropher Mykorrhiza, wobei letztere die wichtigere Form ist. Die Bedingungen der Mykorrhizabildung und ihre Beeinflussung durch Licht, Nährstoffe und pH sind so kompliziert und vielge-

staltig (BJÖRKMANN 1956), daß sie hier auch nicht annähernd abgehandelt werden kann. Die Versuche sollten lediglich einen Hinweis auf die Bedeutung der Mykorrhiza bei Konkurrenzerscheinungen geben.

Es traten erstens Änderungen der Mykorrhiza-Typen und zweitens Änderungen in der Dichte des Mykorrhiza-Besatzes auf!

Es sei deshalb gestattet, die möglichen Ursachen für die beschriebenen Änderungen der Mykorrhizatypen (s.S. 42) hier nur stichwortartig aufzuzählen:

- 1) Die Änderung der Nährstoffversorgung durch Zugabe von Knopscher Nährlösung
- 2) Die Änderung der pH-Werte im Vermiculit
- 3) Nährstoffüberschuß an N und P (BJÖRKMANN 1956)
- 4) Die Ausscheidung von "Phytonziden" (GRÜMMER 1955)
- 5) Die Beschattung der Fichten

Änderungen in der Nadelfarbe kommen häufig vor (STÄFELT 1927, KELLER 1966, LINDER 1972). Ihre Ursache können die jährliche Wintervergilbung durch Absinken des Chlorophyllgehalts, oder ein akuter Nährstoffmangel sein.

Nicht zulässig ist aber der Schluß, daß Nadelverfärbungen auch immer einen Nährstoffmangel anzeigen (HECHT-BUCHHOLZ 1972). Die Unterschiede in der Nadelfarbe, wie sie bei dem Freilandtopfversuch auftraten, können nicht auf Nährstoffkonkurrenz zurückgeführt werden. Deshalb muß eine anders geartete Unkrautwirkung als Ursache angenommen werden.

Interessant war auch die Tatsache, daß einige Unkrautarten offensichtlich das Austreiben von Fichten beschleunigen (Distel), andere aber verzögern (Labkraut, Reitgras und Schmiele).

In ähnlicher Weise wurde auch der Zeitpunkt der Verholzung beeinflusst.

Sollten sich diese phänologischen Befunde bestätigen, so hätte dies sicher Auswirkungen auf den Anbau von Fichten und die Unkrautbekämpfung in spät- und frühfrostgefährdeten Lagen.

Einen weiteren Einfluß könnten die Unkräuter auf den pH-Wert des Bodens ausüben (Tab. 23). Leider ist das gewonnene Zahlenmaterial noch zu gering, um auch nur annähernd endgültige Ergebnisse vorlegen zu können.

Neben den bisher beschriebenen Konkurrenzwirkungen sollte in Labor und Gewächshausexperimenten eine mögliche allelopathische Wirkung der Unkräuter geprüft werden. Auf die Schwierigkeiten bei der Ermittlung von allelopathischen Wirkungen und der exakten Trennung von Konkurrenz und Allelopathie (nur in Wasserkultur exakt zu erreichen) wurde bereits in der Einleitung hingewiesen.

Hier wurde der Weg über Extrakte gewählt, wobei man sich über die damit zusammenhängenden Probleme im klaren war (quantitative Erfassung ist schwierig, Umsetzungen im Boden bleiben unberücksichtigt, aus zerschnittenen Pflanzenteilen können u.U. andere Substanzen, als die in der Natur wirksamen, ausgewaschen werden).

Es kam nur totes Material zur Verwendung, Ausscheidungen aus lebenden Blättern und Wurzeln blieben unberücksichtigt. Nach WINTER und SIEVERS (1952) spielt aber die Blattstreu bei den allelopathischen Wirkungen eine größere Rolle als die grünen Blätter.

Die Extrakte aus darrtrockenem Material wurden verworfen, da sie von den natürlichen Verhältnissen zu weit entfernt sind.

Daß sich die Ergebnisse dieser Experimente mit Fichtenkeimlingen (empfindlichstes Versuchsmaterial) ausschließlich im Wurzelbereich zeigten (Tab. 24 - Seitenwurzelentwicklung), bestätigt die Erkenntnisse von WINTER und SCHÖNBECK (1953), die feststellten, daß Wurzeln empfindlicher auf Extrakte reagieren als Sprosse.

Für die verstärkte Bildung von Seitenwurzeln nach Extraktbehandlung, bieten sich im wesentlichen drei Erklärungen an:

- 1) Durch die Extrakte wird bei den sehr jungen Keimlingen die Wasseraufnahmen gestört und die Pflanze bildet deshalb Seitenwurzeln als Ersatz aus (eine Störung der Wurzelhaarzone bewirkt die gleichen Effekte). Möglicherweise sterben diese Seitenwurzeln aber nach einer gewissen Zeit wieder ab, was gleichzeitig bei den wurzelintensiven Unkräutern (mehr Ausscheidung aktiver Stoffe?) die schwache Wurzelausbildung und den hohen Totwurzelaanteil bei den in Konkurrenz mitgewachsenen Fichten erklären würde.
- 2) Die Extrakte beinhalten Reizstoffe, die die Ausbildung von Seitenwurzeln fördern.
- 3) Es liegt ein Düngungseffekt vor.

Dabei dürfte die Wasseraufnahmetheorie am wahrscheinlichsten sein, da ein zusätzlicher Düngungseffekt durch die entsprechende "Knop-Behandlung" des Vermiculits unwahrscheinlich ist. Auch steht diese Theorie zumindest nicht im direkten Widerspruch mit den Ergebnissen des Topfversuchs (Totwurzelaanteil).

Zusammenfassend ist zu sagen, daß sich die verschiedenen untersuchten Unkräuter in ihrer Wirkung auf Fichten sehr stark unterscheiden.

Es konnten je nach Unkraut mehr oder weniger deutliche Zuwachseinbußen festgestellt werden. Unbedeutend war in diesem Fall die Nährstoffkonkurrenz. Dies bedeutet, daß sie in der Natur wohl nur auf ärmeren Standorten wirksam werden wird.

Bei der Konkurrenz um Wasser zeigten sich dagegen schon bald erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungen - und zwar auch in der Abhängigkeit von der Wurzelausbildung der Fichten.

Betrachtet man nun einmal die einzelnen Unkräuter hinsichtlich ihrer Schadwirkungen, so ist folgendes festzustellen:

Himbeere und Brombeere beeinträchtigen - abgesehen von der Lichtkonkurrenz und mechanischer Verdämmung - die Fichten bei weitem nicht so, wie bisher angenommen.

Bei Distel ist die Hemmwirkung im allgemeinen ebenfalls mäßig, in Einzelfällen, wie bei der Wasser- und Nährstoffkonkurrenz, sowie beim Chlorophyllgehalt - ist sogar eine positive Auswirkung von Distelbewuchs festzustellen.

Als eigentliche Schadunkräuter erwiesen sich Schmielen und Reitgras, vor allem was den Zuwachs und den Wasserhaushalt betrifft.

Daraus ergibt sich für die Praxis der Bekämpfungsentscheidung, vorausgesetzt die Ergebnisse bestätigen sich bei Feldversuchen, die Forderung, die hier gefundenen Ergebnisse zu berücksichtigen:

- 1) Schaden die zu bekämpfenden Unkräuter wirklich so stark, daß sie bekämpft werden müssen, oder ist es betriebswirtschaftlich vertretbar, die zu erwartenden Zuwachseinbußen während einiger Jahre - bei einem Produktionszeitraum von 80-100 Jahren - in Kauf zu nehmen und dabei gleichzeitig die Bekämpfungskosten zu sparen und die Belastung unserer Umwelt zu verringern?
- 2) Sind die Standortverhältnisse so gelagert (Wasser- und Nährstoffkonkurrenz ausreichend?), daß eine Bekämpfung erfolgen muß? Dabei wird auf die Wasserkonkurrenz ein besonderes Augenmerk zu richten sein.

Es bleiben noch eine Reihe von Problemen offen, die bei weiteren Versuchen mit anderen Unkräutern, anderen Testpflanzen und unter natürlicheren Bedingungen gelöst werden müssen.

5 Zusammenfassung

Sechs typische Vertreter einer Unkrautgesellschaft der oberbayerischen Schotterebene (*Rubus idaeus*, *Rubus fruticosus*, *Cirsium arvense*, *Galium mollugo*, *Calamagrostis epigeios*, *Deschampsia flexuosa*) wurden in Freilandtopfversuchen und im Labor hinsichtlich ihres Einflusses auf 3- und 4-jährige Fichten (*Picea abies* (L) Karst) untersucht.

Untersucht wurden:

- Gipfeltrieblänge
- Wurzelhalsdurchmesser
- Frischgewicht der oberirdischen Teile
- Nadel Trockengewicht
- 100-Nadelgewicht
- Nadellänge
- Wurzelentwicklung
- Wurzelgewicht
- Mykorrhizabesatz
- Wurzelrinde und Totwurzelanteil
- Austreibeverhalten der Fichten
- Abschlußzeitpunkt der Höhentriebe

Die Unkräuter konnten nach ihrer Schadwirkung in drei Schädigungsgruppen eingeteilt werden:

- 1) nicht, oder nur wenig schädliche Unkräuter (Himbeere, Brombeere und Distel)
- 2) mäßig hemmendes Unkraut (Labkraut)
- 3) stärker schädigende Unkräuter (Reitgras und Schmielen)

Während der Vegetationsperiode wurde unter verschiedenen Witterungsbedingungen das Wasserpotential der Fichten nach der Methode von Scholander gemessen. Insbesondere bei Wassermangel können in Abhängigkeit vom Unkrautbewuchs erhebliche Unterschiede auftreten. Dabei wirken die einzelnen Unkräuter sehr unterschiedlich: Schmielen und Reitgras schaden sehr stark, Distel weist eine schwach positive Wirkung auf.

Nach Abschluß der Vegetationsperiode erfolgte eine Nadelanalyse auf die Gehalte an N,P,K,Ca,Mg und Asche. Es gab keine bedeutenden Unterschiede im Nährstoffgehalt bei den einzelnen Behandlungen.

In einer zweiten Versuchsserie wurde der Einfluß von Extrakten, die aus den Unkräutern gewonnen worden waren, auf vier Wochen alte Fichtenkeimlinge - insbesondere deren Seitenwurzelentwicklung - getestet. Dabei förderten vor allem die Extrakte, die aus Unkrautwurzelmaterial gewonnen waren, die Seitenwurzelentwicklung.

Nicht alles was im Wald als "Unkraut" angesprochen wird, wirkt als solches so schädigend, daß eine Bekämpfung notwendig wird.

Die Wirkung der Unkräuter muß weiter untersucht werden.

Literaturverzeichnis

- Amaro, P., 1973: Der European Weed Council und der Fortschritt der Herbologie in Europa. Zeitschr. f. Pfl.kr. u. Pfl.schutz, 80, 241-245
- Autorenkollektiv, 1973: Bedenken gegen den Herbizideinsatz - Gemeinsame Erklärung unabhängiger Wissenschaftler zur Verwendung chemischer Unkrautbekämpfungsmittel. Presseerklärung Trier, 15.9.1973
- Baemer, K., 1960: Über die Wirkung von Rotklee- und Weidelgraswurzeln auf die Entwicklung von *Trifolium pratense* L. und *Fusarium spec.* Angew. Botanik, 34, 46-55
- Bailey, A., and Gupta, R.K., 1973: Grass-Woody Plant Relationship. Can.J.Plant Sci. 53, 671-676
- Balschun, H., 1961: Zur Frage der Beeinflussung des Leinertrages durch *Camelina* - Arten. Flora 151, 572-606
- Balschun, H., und Jacob, F., 1966: Die Beeinflussung von *Linum usitatissimum* L. durch einjährige Pflanzen in Gefäßversuchen. Flora Abt. A 156, 411-427
- Begemann, W., 1973: Forstschutz (chem.). Der deutsche Forstmann, 3, 43
- Benecke, U., 1972: Physiologische Untersuchungen zur Eignung verschiedener Baumarten bei der Aufforstung in Hochlagen. Diss. München, Forschungsberichte Forstliche Forschungsanstalt 5
- Björkmann, E., 1956: Über die Natur der Mykorrhizabildung unter besonderer Berücksichtigung der Waldbäume und die Anwendung in der forstlichen Praxis. Forstw. Cbl. 75, 265-286
- Blum, W. E., 1970: "Vermiculit" als Nährsubstrat für angewandte und experimentelle Pflanzenökologie. Allgem. Forst- und Jagz. 141, 205-209
- Börner, H., 1958: Experimentelle Untersuchungen zum Problem der gegenseitigen Beeinflussung von Kulturpflanzen und Unkräutern. Biol. Zbl. 77, 310-328
- Börner, H., 1961: Fragen einer gegenseitigen Beeinflussung höherer Pflanzen. Naturwiss. Rundschau 14, 265-268
- Börner, H., 1968: Gegenseitige Beeinflussung höherer Pflanzen (allelopathische Erscheinungen). Handbuch der Pflanzenkrankheiten, Bd. 1, 7. Aufl., 3. Lieferung, Berlin 1968, S. 97-160

- Bossel, 1968: Der Einsatz von Herbiziden auf Kulturflächen. Der Forst- und Holzwirt 23, 272-274
- Bossel, H., 1974: Umweltbewußter Forstschutz. AFZ 29, 37-38
- Boyer, J. S., 1969: Measurement of the Water Status of Plants. Ann. Rev. Pl. Physiol. 20, 351-364
- Claudius, G.R., and Mehrotra, R.S., 1973: Root Exudates from Lentil Seedlings in Relation to wilt Disease. Plant and Soil 38, 315
- Davidonis, G.H., and Ruddat, M., 1973: Allelopathic Compounds, Thelypterin A and B in the Fern Thelypteris normalis. Planta 111, 23-32
- Deppenmeier, E., 1973: Mehr Sicherheit bei der Herbizidanwendung. AFZ 28, 478-482
- Dominik, T., 1969: Key to Ectotrophic Mykorrhiza. Folia Forest. Polon. Ser. A 15, 309-328
- Duffus, J.E., 1971: Role of Weeds in the Incidence of Virus Diseases. Ann. Rev. of Phytopathology 9, 319-340
- Endtmann, K.J., 1972: Möglichkeiten und Probleme zur Frühbestimmung von Farnen sowie ein- und zweikeimblättrigen Unkräutern forstlicher Kulturen und Baumschulen. Beiträge f. d. Forstwirtschaft 3, 41-45
- Evenari, M., 1961: Chemical Influences on other Plants (Allelopathy). Handbuch Pflanzenphysiologie. Berlin, Göttingen, Heidelberg, 16, 691-736
- Evers, F.H., 1973: Behandlung forstwirtschaftlich genutzter Flächen in Einzugsgebieten von Trinkwassertalsperren. AFZ 28, 1035-1039
- Fober, H., and Giertych, M., 1970: The Uptake of ³²P by Spruce Seedlings (Picea abies (L) Karst) growing in Competition with Grass. Acta Societatis botanicae Poloniae 39, 115-120
- Fober, H., and Giertych, M., 1971: Effect of Grass Competition on the Growth and Mineral Nutrition of Spruce (Picea abies Karst). Arboretum Kronickie, Rocznik 16, 82-105
- Galston, A.W., 1971: Some Implications of the Widespread Use of Herbicides. Bio Science 21, 891-892
- Göttsche, D., 1972: Verteilung von Feinwurzeln und Mykorrhizen im Bodenprofil eines Buchen- und Fichtenbestandes im Solling. Diss. Reinbeck bei Hamburg, Mitt. d. Bundesforschungsanstalt f. Forst- u. Holzwirtschaft 88

- Grümmer, G., 1955: Die gegenseitige Beeinflussung höherer Pflanzen. Jena 1955
- Grümmer, G., 1961: The Role of Toxic Substances in the Inter-relationship between Higher Plants. in: Mechanisms in Biological Competition Cambridge: at the University Press p 219-228
- Gürth, P., 1970: Forstpflanzen und Kulturerfolg. Eine Literaturübersicht. Allg. Forst- und Jagdz. 141, 97-104
- Gundermann, E., 1974: Praxisbezogene Überlegungen bei der Ausscheidung von Erholungswäldern. Forstarchiv 45, 1-6
- Hager, A., Meyer-Bertenrath, R., 1966: Die Isolierung und quantitative Bestimmung der Carotinoide und Chlorophylle von Blättern, Algen und isolierten Chloroplasten mit Hilfe dünnsschichtchromatographischer Methoden. Planta 69, 198-217
- Hanschke, D., 1968: Zur Frage der Unkrautkonkurrenz und ihrer Erfassung. Forst- u. Holzwirt 23, 434-439
- Hasenkamp, J.G., 1974: Es geht auch ohne Herbizide. AFZ 29, 43
- Haupt, W., 1973: Die Thesen zur Podiumsdiskussion "Pflanzenschutz und Schädlingsbekämpfung während der VDB-Tagung in München. Mitt. d. Verbandes Deutscher Biologen e.V. in Naturw. Rundschau 26, 907-909
- Hecht-Buchholz, CH., 1972: Wirkung der Mineralstoffernährung auf die Feinstruktur der Pflanzenzelle (Sammelreferat). Zeitschr. f. Pfl.ernährung u. Bodenkunde 132, 45-68
- Höhne, H., 1964: Untersuchungen über die jahreszeitlichen Veränderungen des Gewichts- und Elementgehalts von Fichtennadeln in jüngeren Beständen des Osterzgebirges. Arch. f. Forstw. 13, 747-774
- Hoffmann, G., 1973: Periodok des Substanzmassenzuwachses von Wurzeln und Sproßorganen junger Forstgehölze. Flora 162, 126-133
- Holzner, W., 1973: Forschungsergebnisse der modernen Ökologie in ihrer Bedeutung für die Biologie und Bekämpfung der Unkräuter. Die Bodenkultur, 24, 61-74
- Hütte, P., 1973: Walderhaltung als Aufgabe des Forstschutzes im Spannungsfeld des Umweltschutzes. AFZ 28, 488-489

- Huss, J., 1973: Fortschritte im Waldbau mit Hilfe von Versuchen (Am Beispiel des Arbeitsgebietes "Unkrautbekämpfung und Konkurrenzregelung bei jungen Forstpflanzen") AFZ 28, 474-477
- Israel, D.W., Giddens, J.E., Powell, W.W., 1973: The Toxicity of Peach Tree Roots. Plant and Soil 39, 103-112
- Keller, T., 1966: Versuch zur Bekämpfung der winterlichen Nadelverfärbungen an den Triebenden der Fichten in Forstpflanzgärten. Schweiz. Zeitschr. f. Forstw. 10, 706-719
- Kerr, A., 1965: Summary and Synthesis of Papers on the Soil, the Plant Root, and the Rhizosphere. in: Ecology of Soil-Borne Plant Pathogens, University of California Press, Berkley, Los Angeles, p 248-249
- Kirk, G., 1972: Dort Gift - hier Waldhygiene. Waldhygiene 9, 203-208
- Klebingat, G., 1970: Einige Erkenntnisse über Schadwirkungen forstlicher Unkräuter und deren Keimungsverhältnisse als Grundlage für einen gezielten, rationalen Einsatz von Herbiziden in der Forstwirtschaft. Arch. Forstw. 19, 245-254
- Klebingat, G., 1971: Einige Beispiele zur Untersuchung der Schadwirkung von Unkrautflorendecken auf die Kiefern-pflanzen in 2- und 3-jährigen Kulturen. Beitr. f. d. Forstwirtsch. 5, 153-156
- Kloos, G., Reichling, J. u. Egger, K., 1973: Die Wirkung von Benomyl, Reglone und Cercobin auf die Entwicklung der Regenwurmart Eisenia foetida im Kohon. Garten organisch 2/1973, 45
- Klute, A., und Peters, D.B., 1969: Water uptake and root growth. in: Root Growth, ed. Whittington, W.F., Butterworths, London, 105-132
- Knapp, R., 1954: Experimentelle Soziologie der höheren Pflanzen. Stuttgart u. Ludwigsburg
- Korsmo, E., 1930: Unkräuter im Ackerbau der Neuzeit. Berlin 1930
- Kranz, J., 1973: Zur Ermittlung der Befalls/Verlust-Relationen in Feldversuchen. Angew. Botanik, 46, 285-294.
- Lanz, W., 1973: Mehr Sicherheit. AFZ 28, 467
- Lanz, W., 1974: Zur Pflege von Kiefern und Douglasien (Fichten)-Kulturen auf dilluvialen Standorten. AFZ 29, 211-214

- Linder, S., 1972: Seasonal Variation of Pigments in Needles. A Study of Scots Pine and Norway Spruce Seedlings Grown under Different Nursery Conditions. *Studia Forestalia Suecica* 100
- McCahon, C.B., Kelsey, R.G., Sheridan, R.P. and Shafizadeh, F., 1973: Physiological effects of compounds extracted from sagebrush. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 100, 23-28
- McPherson, J.K. and Thompson, G.L., 1972: Competitive and allelopathic suppression of understory by Oklahoma oak forests. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 99, 293-300
- Milthorpe, F.L., 1961: The Nature and Analysis of Competition between Plants of Different Species. in: *Mechanisms in Biological Competition*. Cambridge University Press, p 330-355
- Missbach, K., 1971: Möglichkeiten und Grenzen der Vorbeugung von Waldbränden durch die Förderung und den Anbau schwer brennbarer Pflanzenarten. *Beitr. f. d. Forstwirtsch.* 5, 105-116
- Molisch, H., 1937: Der Einfluß einer Pflanze auf die andere - Allelopathie. Verlag Fischer, Jena
- Moral, R.D., and Cates, R.G., 1971: Allelopathic Potential of the Dominant Vegetation of Western Washington. *Ecology* 52, 1030-1037
- Münch, W.D., 1972: Änderungen der Artenzusammensetzung von Unkräutern in Forstkulturen nach der Anwendung von Herbiziden. *Zeitschr. f. Pfl.krankheiten* 79, 485-497
- Münch, W.D., 1973: Zur Eignung von Wurzelhalsdurchmesser und 100-Nadelgewicht als Meßgrößen für Zuwachsuntersuchungen in Forstkulturen nach Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. *Anz. f. Schädlingskunde u. Pfl.schutz* 46, 65-69
- Olberg, R., 1963: Untersuchungen über den Einfluß von Bodenlockerung und Unkraut auf das Wachstum von verschulten Kiefern und Fichten im Pflanzgarten. *Diss. Hann. Münden*
- Olberg, R., 1973: Zur Frage der Rückstandswerte nach Anwendung von 2,4,5-T-Salz zur Himbeerbekämpfung in Forstkulturen (Vorläufige Mitteilung) *Nachrichtenbl. Deutsch. Pfl.schutzdienstes* 25, 41
- Oldenkamp, L., 1973: Verstärkter Herbizideinsatz oder Verwendung besserer Forstpflanzen - Erfahrungen in den Niederlanden. *Forsttechn. Inform.* 25, 14-15

- Pronin, V.A., Voronkova, F.V., 1973: The technique for investigation of root exudates of higher plants. *Fiziologiia Rastenii* 20,
- Rademacher, B., 1948: Gedanken über Begriff und Wesen des Unkrauts. *Z. f. Pfl.krankheiten (Pfl.pathologie) u. Pfl.schutz* 55, 3-10
- Rademacher, B., 1959: Gegenseitige Beeinflussung höherer Pflanzen. *Handbuch d. Pfl.physiologie*, Berlin, Göttingen, Heidelberg 11, 655-706
- Rice, E.L., 1972: Allelopathic Effects of *Andropogon Virginicus* and its Persistence in old Fields. *American Journal of Botany* 59, 752-755
- Riecke, 1973: Chemische Unkrautbekämpfung in der Forstwirtschaft der DDR. *Forsttechn. Inform.* 25, 53-55
- Rintelen, J., 1973: Einfluß der Verunkrautung auf die Infektion von Erbsen und Lein durch bodenbürtige Fusarien. I. Beobachtungen an einem Dauerversuch und Untersuchungen zur Erregerpopulation. *Zeitschr. f. Pfl.Krankh. u. Pfl.schutz* 80, 265-283
- Roediger, K.J., 1968: Welchen Einfluß hat die chemische Kulturreinigung auf das Wachstum der Kulturen? *Forst u. Holzwirt* 23, 434-439
- Röhrig, E., 1964: Über die gegenseitige Beeinflussung der höheren Pflanzen (Sammelreferat aus der Sicht des Waldbaus). *Forstarchiv* 35, 25-39
- Röhrig, E., 1973: Die Bedeutung der Standortfaktoren bei Kulturpflegeversuchen. *AFZ* 28, 472-473
- Rovira, A.D., 1965: Plant Root Exudates and Their Influence upon Soil Microorganisms, in: *Ecology of Soil-Borne Plant Pathogens*, University of California Press, Berkley, Los Angeles, p 170-186
- Rozsnyay, Z., 1961: Untersuchungen zur chemischen Unkrautbekämpfung im Walde. *Diss. Hann. Münden*
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D. and Hemmingsen, E.A., 1965: Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148, 339-346
- Schütt, P., 1974: Die Phyllosphäre, eine Zone hoher biologischer Aktivität. *Forstw. Cbl.* 93, 1-10
- Slayter, R.O., 1967: *Plant-water relationship*. Academic Press, London

- Spomer, L.A., 1972: Evaluation of Edge Injection Errors in the Floating Leaf Disk Method of Measuring Leaf Tissue Water Deficit. *Plant Physiol.* 49, 1027-1028
- Spomer, L.A., and Langhans, R.W., 1972: Evaluation of Pressure Bomb and Dye Method Measurement of Tissue Water Potential in Greenhouse Chrysanthemum. *Hort Science*, 7, 412-413
- Stälfelt, M.G., 1927: Periodische Schwankungen im Chlorophyllgehalt wintergrüner Pflanzen. *Planta* 4, 201-213
- Straub, R.Ch., 1971: Die Entwicklung der Kahlschlagflora und ihre Bedeutung durch mechanische Bodenbearbeitung, chemische Unkrautbekämpfung und Düngung. Diss. Göttingen
- Tamm, C.O., 1964: Die Blattanalyse als Methode zur Ermittlung der Nährstoffversorgung des Waldes - eine kritische Betrachtung. *Tag.ber. Dt. Akad. Landwirtschaftswiss.* 66, 7-17
- Tinnin, R.O., and Muller, C.H., 1971: The Allelopathic Potential of *Avena fatua*: I) Influence of Herb Distribution
II) The Allelopathic Mechanisms
Bulletin of the Torrey Botanical Club 98, 243-250
- Tubbs, C.H., 1973: Allelopathic Relationship between Yellow Birch and Sugar Maple Seedlings. *Forest Science* 19, 139-145
- Tyree, M.T., and Hammel, H.T., 1972: The Measurement of the Turgor Pressure and the Water Relations of Plants by the Pressure-Bomb Technique. *J. of Experimental Botany* 23, 267-282
- Walter, B., 1970: Der Einfluß verschiedener Herbizide auf Struktur und Mikrobiologie des Bodens, *Z. f. Pfl. krankh. Sonderheft V*, S. 29-31
- Walter, H., und Kreeb, K., 1970: Die Hydratation und Hydratur des Protoplasmas der Pflanzen und ihre ökophysiologische Bedeutung. Verlag Springer, Wien
- Waring, R.H., 1970: Die Messung des Wasserpotentials mit der Scholander-Methode und ihre Bedeutung für die Forstwirtschaft. *Forstw. Cbl.* 89, 195-200
- Wehrmann, J., 1963: Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft. *Landw. Forschung* 16, 130-145

Whitcomb, C.E., 1972: Influence of Tree Root Competition on Growth Response of Four Cool Season Turfgrasses. *Agronomy Journal* 64, 355-359

Wiebe, H.H., Brown, R.W., Daniel, T.W., Campbell, E., 1969: Water Potential Measurement in Trees. *BioScience* 20, 225-226

Winter, A.G., 1952: Untersuchungen über die Beeinflussung der Samenkeimung durch Kaltwasserextrakte aus der Blattstreu verschiedener Gramineen. *Naturwiss.* 39, 191-192

Winter, A.G., und Schoenbeck, F., 1953: Untersuchungen über den Einfluß von Kaltwasserextrakten aus Getreidestroh und anderer Blattstreu auf Wurzelbildung und Wurzelwachstum. *Naturwiss.* 40, 513-514

Witsch, H. v., 1959: Aus dem Institut für Botanik und Pflanzenkrankheiten. *Bayer. Landwirtschaft. Jahrbuch* 36, 84-90

Woods, F.W., Copeland, O.L., and Ostrom, C.E., 1957: Soil management for forest trees. *Yearbook Agric. U.S. dep. Agric., Washington*, p 710-715

Zech, W., 1968: Kalkhaltige Böden als Nährsubstrat für Koniferen - Ökologische Studien in Süddeutschland. *Diss. München*

Zitzewitz, H. v., 1964: Zur Empfindlichkeit verschiedener Holzarten gegen einige chemische Unkrautbekämpfungsmittel. *Forst- und Holzwirt* 19, 87-90

Zitzewitz, H. v., 1965: Wachstumsbeeinflussung durch Anwendung chemischer Unkrautbekämpfungsmittel. *Forst- und Holzwirt* 20, 400-403

Zitzewitz, H. v., 1966: Wie werden chemische Unkrautbekämpfungsmittel von Kulturen vertragen? *Forst- und Holzwirt* 21, 141-144



Abb. 4: Mykorrhiza, Typ Aa
(aus Götttsche 1972)



Abb. 5: Mykorrhiza, Typ Fa
(aus Götttsche 1972)



Abb. 6: Mykorrhiza, Typ Fg
(aus Götttsche 1972)



Abb. 7: Freilandtopfversuch

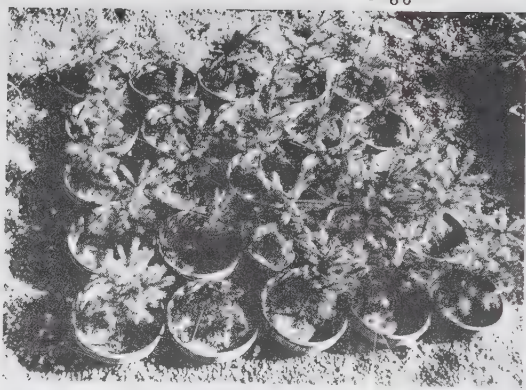


Abb. 8: Kontrolle, Fi2



Abb. 9: *Rubus fruticosus* u. Fi 2



Abb. 10: *Rubus fruticosus* u. Fi 2



Abb. 11: *Cirsium arvense* u. Fi 2



Abb. 12: *Galium mollugo* u. Fi 2

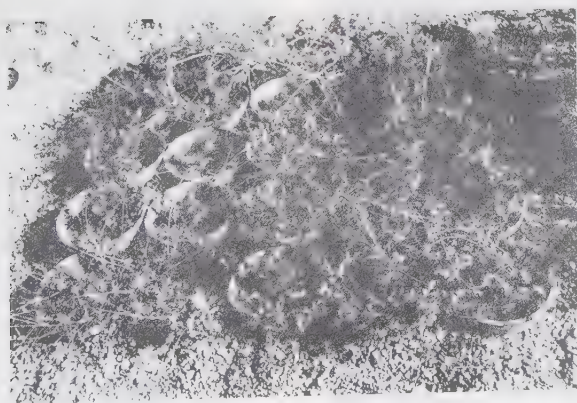


Abb. 13: *Galium mollugo* u. Fi 2



Abb. 14: *Calamagrostis epigeios* u. Fi 2



Abb. 15: *Calamagrostis epigeios* u. Fi 2



Abb. 16: *Calamagrostis epigeios*
u. Fi 2 (Wurzelfilz)



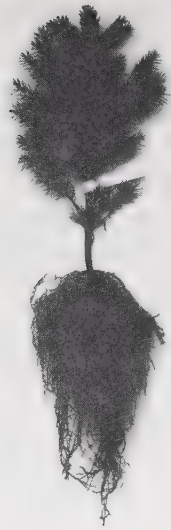
Abb. 17: *Deschampsia flexuosa* u. Fi 2



18



19



20

Abb.

Kontrolle Fi 2

"R. fruticosus"-Fi 2 "C. arvense"-Fi 2



21



22



23

Abb.

"G. mollugo"-Fi 2

"C. epigeios"-Fi 2

"D. flexuosa"-Fi 2

Lebenslauf

Am 13.7. 1945 wurde ich als Sohn des Oberforstmeisters Josef Peer und seiner Ehefrau Herta, geb. Johne in Selb/Ofr. geboren.

Von 1951 bis 1956 besuchte ich die Volksschulen in Bayreuth und Arzberg, anschließend die Oberrealschule in Marktrechwitz, wo ich 1965 die Reifeprüfung ablegte.

Nach Ableistung meines Wehrdienstes von 1965 - 1967, begann ich im SS 1968 das Studium der Forstwirtschaft an der Universität München.

Nach dem WS 71/72 legte ich die forstliche Schlußprüfung ab und begann am Forstbotanischen Institut als Doktorand auf dem Gebiet der Unkrautökologie zu arbeiten.

